

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMA E INFORMATICA

E.A.P DE INGENIERIA DE SISTEMAS

**Automatización de la Datación de Equimosis en el
Peritaje Médico Legal Peruano mediante Redes
Neuronales Artificiales y Procesamiento de Imágenes**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero de Sistemas

AUTOR

Gisella Marilú Llajaruna Pereda

ASESOR

David Santos Mauricio Sánchez

Lima- Perú

2011

Gisella Marilú Llajaruna Pereda

**Automatización de la Datación de Equimosis en el Peritaje
Médico Legal Peruano mediante Redes Neuronales Artificiales y
Procesamiento de Imágenes**

“Tesis presentada a la
Universidad Nacional Mayor de San
Marcos (Lima - Perú), para obtener el
Título de Ingeniero de Sistemas”

Orientador: David Santos Mauricio Sánchez

LIMA, PERÚ

Agosto – 2011

© Gisella Marilú Llajaruna Pereda, 2011

Todos los derechos reservados

Quiero dedicarle este trabajo a Dios, que me ha dado la
vida y la fortaleza para terminar esta tesis.
A mis padres, por estar siempre presentes cuando más los necesito,
por ser la fuente de mi inspiración y motivación para superarme
cada día más y así poder luchar para que la vida nos depare un
futuro mejor.

AGRADECIMIENTOS

Durante el desarrollo de mis estudios de pregrado en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos varias personas e instituciones colaboraron directa e indirectamente con mi investigación. Sin este importante apoyo hubiera sido imposible concluir mi tesis. Por eso quiero dedicar esta sección a reconocer tan valioso apoyo.

Quiero comenzar expresando un sincero reconocimiento a mis padres, Jaime y Doralisa, quienes han sido un apoyo moral y económico para lograr este fin. Gracias por su apoyo incondicional.

Un agradecimiento especial a mis asesores de tesis, el Dr. David Mauricio y el Dr. Lino Gutiérrez, personas que admiro por su inteligencia y sus conocimientos; les agradezco por brindarme la oportunidad de investigar bajo vuestra atenta supervisión y orientación a fin de que este trabajo cumpla con los objetivos trazados.

También agradezco a cada uno de mis profesores por la motivación, fomento y apoyo durante estos cinco años de estudios en la universidad; con todos ellos he aprendido mucho para poder desarrollar esta tesis, especialmente con el profesor Daniel Ortega.

Y, por encima de todo, doy gracias a Dios.

Automatización de la Datación de Equimosis en el Peritaje Médico Legal Peruano mediante Redes Neuronales Artificiales y Procesamiento de Imágenes

RESUMEN

Las equimosis poseen un extraordinario interés médico – legal, ya que proporcionan los más valiosos indicios para la reconstrucción de la violencia en los que se produjeron. Tradicionalmente, los médicos de acuerdo a su experiencia utilizan la evaluación visual para determinar la edad de la equimosis, pero esta técnica ha sido sustancialmente subjetiva y ha demostrado ser inexacta y poco fiable.

El propósito de este estudio es desarrollar un sistema inteligente que incorpore el procesamiento de imágenes utilizando la técnica RGB de la metodología de colorimetría con el objetivo de obtener el píxel promedio de la zona indurada de la equimosis y una red Perceptrón Multicapa que tiene como variables de entrada el color promedio de la zona indurada obtenido por el procesamiento de imágenes, el color de piel, edad y sexo del lesionado, la presencia de tejido laxo, tejido óseo y tejido vascular, así como también la temperatura ambiental; las cuales han sido cuidadosamente seleccionadas con la finalidad de obtener una mayor precisión en la datación de equimosis.

El procesamiento de imágenes se implementó en el lenguaje de programación Java, el cual tiene por finalidad obtener el promedio de los pixeles RGB más influyentes de la zona indurada de la equimosis. Así mismo, la fase de aprendizaje y validación de la red Perceptrón Multicapa se realizó con la herramienta matemática MATLAB, utilizando el algoritmo backpropagation que brindó una tasa de error de 1.26% y 1.37% respectivamente. En consecuencia, el sistema inteligente propuesto en esta tesis genera una mayor precisión en la datación de equimosis en comparación al 80% de inexactitud de los diagnósticos de los médicos legales.

Palabras clave: datación de equimosis, procesamiento de imágenes, backpropagation.

Automation of Dating Ecchymosis in the Peruvian Forensic Medical Expertise using Artificial Neural Networks and Image Processing

ABSTRACT

The ecchymosis has a special medical - legal interest, as these provide the most valuable clues for the reconstruction of violence in which they occurred. Traditionally, doctors according to their experience using visual assessment to determine the age of ecchymosis, but this technique has been substantially subjective and has proven to be inaccurate and unreliable.

The purpose of this thesis is to develop an intelligent system that incorporates image processing technique using the RGB colorimetric methodology in order to obtain the average pixel of indurated area of ecchymosis and a multilayer perceptron network whose input variables the average color of the indurated area obtained by images processing, color, age and sex of the injured, the presence of loose tissue, bone tissue and vascular tissue, as well as the ambient temperature, which have been carefully selected in order to obtain a more accurate dating of ecchymosis.

The image processing is implemented in the Java programming language, which aims to obtain the average of the RGB pixels most influential of indurated area of ecchymosis. Also, the learning and validation phase of the multilayer perceptron network was performed with the mathematical tool MATLAB, using the backpropagation algorithm which provided an error rate of 1.26% and 1.37%, respectively. In consequence, the intelligent system proposed in this thesis generates a more precise dating ecchymosis compared to 80% of incorrect medical diagnoses.

Keywords: Dating of ecchymosis, Image processing, Backpropagation.

ÍNDICE

Lista de figuras	xi
Lista de tablas	xvii

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.ANTECEDENTES.....	1
1.2.PROBLEMÁTICA.....	2
1.3.OBJETIVOS.....	3
1.3.1. Objetivo Principal.....	3
1.3.2. Objetivos Secundarios.....	3
1.4.JUSTIFICACIÓN.....	3
1.5.ALCANCE.....	9
1.6.PROPOSTA.....	9
1.7.ORGANIZACIÓN DE LA TESIS.....	11
 CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	12
2.1.SISTEMA JUDICIAL PERUANO.....	12
2.1.1. Poder Judicial del Perú.....	12
2.1.2. Ministerio Público.....	12
2.1.3. Sistema Fiscal.....	13
2.1.4. Instituto de Medicina Legal.....	14
2.2.CONTUSIONES.....	15
2.3.EQUIMOSIS.....	16
2.4.REDES NEURONALES ARTIFICIALES (RNA).....	16
2.4.1. Fases de modelización.....	17
2.4.2. Clasificación de la redes neuronales.....	17
2.4.3. Estructuras de conexión.....	18
2.4.4. Componentes de una neurona artificial.....	20
2.4.5. El perceptrón multicapa.....	22
2.4.6. Back-propagation.....	23
 CAPÍTULO III: ESTADO DEL ARTE.....	24
3.1.MÉTODOS PARA LA DATACIÓN DE EQUIMOSIS.....	24
3.1.1. Espectroscopia de reflectancia difusa visible.....	24
3.1.2. Imágenes hiperespectrales.....	25
3.1.3. Concentración cromóforo.....	25
3.1.4. Colorimetría.....	25
3.1.5. Espectrofotometría de reflectancia.....	26

3.1.6. Fotografía ultravioleta.....	26
3.2.TÉCNICAS DE COLORIMETRÍA.....	26
3.2.1. RGB (red, green, blue)	26
3.2.2. HSV (tono, saturación, valor).....	27
3.3.BASES DEL ESTUDIO.....	28
3.3.1. Color de las equimosis.....	28
3.3.1.1. Análisis cualitativo de la imagen visual en la determinación de la edad del hematoma.....	28
3.3.1.2. Cronología de la equimosis.....	29
3.3.1.3. La percepción de color amarillo en moretones.....	30
3.3.1.4. Sistema de reconocimiento de color de contusiones asistido por ordenador.....	30
3.3.2. Color de piel del lesionado.....	32
3.3.2.1. Eritema de mano y detector de contusiones.....	32
3.3.3. Edad del lesionado.....	33
3.3.3.1. La prevalencia y distribución de hematomas en los bebes.....	33
3.3.3.2. El envejecimiento de las contusiones en los niños.....	33
3.3.3.3. Análisis de imágenes multiespectrales de la edad de los hematomas.....	34
3.3.4. Vascularidad de la piel.....	35
3.3.4.1. Un nuevo enfoque para la determinación de la edad de las lesiones traumáticas por espectroscopia de reflectancia.....	35
3.3.5. Tejido óseo subyacente.....	36
3.3.5.1. Evaluación espectrofotométrica del color de los hematomas y del tejido subcutáneo.....	36
3.4.ESTUDIOS PARECIDOS.....	37
3.4.1. Estudio sobre la expresión del arnm del activador plasminógeno de tipo tisular para la estimación de la edad de las moretones en ratas.....	37
3.4.2. Interpretación de contusiones en la necropsia.....	38
3.4.3. Parámetros histológicos e histoquímica enzimática para la estimación de la edad de las heridas de la piel humana.....	38
CAPÍTULO IV: DISEÑO DE LA RED NEURONAL ARTIFICIAL.....	39
4.1.ESQUEMA GENERAL DEL DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	39
4.2.CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE CASOS DE EQUIMOSIS.....	41
4.2.1. Características de las variables.....	41
4.2.2. Estructura de los casos clínicos de equimosis.....	47
4.2.3. Banco de casos clínicos de equimosis.....	48

4.3.PROCESADO DE IMAGEN	50
4.4.NORMALIZACIÓN DE DATOS	53
4.5.DISEÑO DE LA RED NEURONAL ARTIFICIAL.....	56
4.5.1. Selección del tipo de red neuronal artificial.	56
4.5.2. Modelamiento de la red neuronal artificial.	57
CAPÍTULO V: IMPLEMENTACIÓN DE LA RED NEURONAL.....	60
5.1.PROCESO DE ENTRENAMIENTO DE LA RNA.....	60
5.2.PROCESO DE VALIDACIÓN DE LA RNA.....	61
5.3.ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS.	62
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	64
6.1. CONCLUSIONES.....	64
6.2. TRABAJOS FUTUROS.....	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
ANEXO A ANUARIO ESTADÍSTICO 2009 – MINISTERIO PÚBLICO.....	71
ANEXO B BANCO DE CASOS DE EQUIMOSUS.....	75
ANEXO C INTERVALO DE COLORES DE EQUIMOSIS.....	79
ANEXO D PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DE EQUIMOSIS.....	85
ANEXO E COMANDO NNTOL DE MATLAB.....	89
ANEXO F DISEÑO, ENTRENAMIENTO Y VALIDACIÓN DE LAS RNAS.....	97
ANEXO G SELECCIÓN DE LAS VARIABLES DE ENTRADA.....	128

Lista de figuras

Figura 1.1.	Modelo mental de la tesis.	10
Figura 2.1.	Estructura Orgánica del instituto de Medicina Legal	15
Figura 2.2.	Entrenamiento supervisado	18
Figura 2.3.	Estructuras de conexión entre neuronas	19
Figura 2.4.	Elementos básicos de una neurona	20
Figura 2.5.	Funciones principales de Activación	22
Figura 3.1.	Modelo de color RGB	27
Figura 3.2.	Modelo de color HS	28
Figura 3.3.	Evolución de los colores de una	29
Figura 3.4.	Descripción gráfica de los cambios de color de un moretón en el tiempo	31
Figura 3.5.	Intervalos de los colores significativos de una lesión	32
Figura 3.6.	Colores de las fotografías de los hematomas de diferentes edades	34
Figura 4.1.	Flujo de procesos del desarrollo de la tesis	40
Figura 4.2.	Componentes del píxel promedio de la zona indurada	42
Figura 4.3.	Diferencias de las características de una equimosis entre una mujer blanca y una mujer trigueña oscura	42
Figura 4.4.	Diferencias entre la equimosis entre un niño y un anciano	43
Figura 4.5.	Diferencias de las características de una equimosis entre un varón y una mujer	44
Figura 4.6.	Diferencias de las características de una equimosis entre una zona corporal con pliegues y otra sin pliegues	44
Figura 4.7.	Diferencias de las características de una equimosis entre una zona vascular con bastante irrigación sanguínea y otra de menor irrigación	45
Figura 4.8.	Diferencias de las características de las equimosis entre una zona cercana al tejido óseo, y otra con mayor distancia.	46
Figura 4.9.	Diferencias de las características de una equimosis entre una persona que se encontraba en la selva y otra que se encontraba en la costa	46
Figura 4.10.	Ejemplo de la estructura del Caso 5 del banco de casos de equimosis.	47
Figura 4.11.	Fotografía del Caso 5 del banco de casos de equimosis	51
Figura 4.12.	Recorte de la zona indurada de la equimosis	51
Figura 4.13.	Zona indurada de una equimosis (Caso 5)	52
Figura 4.14.	Los colores de los píxeles de la zona indurada generan un píxel promedio.	52
Figura 4.15.	Componentes principales de una red Perceptrón Multicapa	57
Figura 4.16.	Efecto del número de unidades	59
Figura 5.1.	Red neuronal final	63

Lista de tablas

Tabla 1.1.	Número de casos de reconocimientos clínicos por División Médico Legal	5
Tabla 1.2.	Número de Casos registrados según delito en las Fiscalías provinciales de Lima	6
Tabla 1.3.	Detalle del delito contra la vida, el cuerpo y la salud	7
Tabla 4.1.	Codificación de las variables	41
Tabla 4.2.	Otro esquema para representar la estructura del Caso 1 del banco de casos clínicos	48
Tabla 4.3.	Recopilación de casos clínicos de equimosis	49
Tabla 4.4.	Normalización de los valores del banco de casos de equimosis	55
Tabla 4.5.	Variables de entrada de la red Perceptrón Multicapa	58
Tabla 4.6.	Intervalos de la variable de salida de la red Perceptrón Multicapa	59
Tabla 5.1.	Resultados del ECM del entrenamiento de las 7 RNAs	61
Tabla 5.2.	Resultados del ECM de la validación de las 7 RNAs	62

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

En el año 2001, dentro de la política iniciada por la Fiscal de la Nación, Dra. Nelly Calderón Navarro, se inicia la etapa de Modernización del Ministerio Público y con ella la del Instituto de Medicina Legal, el cual no sólo está creciendo en funciones y servicios, sino también en infraestructura de nuevos locales de Divisiones de Exámenes Clínicos. Actualmente en el Ministerio Público – Instituto de Medicina Legal – Gerencia de Criminalística – Divisiones Clínicas Forenses reciben diariamente diligencias que son enviadas por el Poder Judicial, para su respectivo estudio médico. Una vez evaluadas, el médico Legista debe escribir un expediente legal con el diagnóstico respectivo del agraviado, incluyéndose la datación de una equimosis en caso de un moretón. Esta información es de suma importancia, y es necesario que sea lo más precisa posible, ya que a través de este expediente legal, el fiscal tomará la decisión de elevar un informe legal a juicio o caso contrario solo se archivará.

Además en los tribunales, a menudo, a muchos médicos se les pide responder preguntas como la edad absoluta de una equimosis, la edad relativa de varias equimosis, si son dos equimosis de la misma edad, si esta equimosis es definitivamente más reciente o más antigua que otra. Generándose de esta forma un problema ya que el médico legista solo cuenta con evidencia escasa y difusa. Por lo tanto, se puede concluir que las equimosis poseen un extraordinario interés médico – legal, pese a su intrascendencia clínica, ya que proporcionan los más valiosos indicios para la reconstrucción de la violencia, en cuyo desarrollo se produjeron.

1.2.PROBLEMÁTICA

El poder judicial está consciente de la constante insatisfacción de muchos peruanos debido a la lentitud, deficiente calidad y algunos actos de corrupción dentro del proceso médico legal, lo cual se debe a muchos factores, siendo uno de ellos la inexactitud del diagnóstico del número de días de una equimosis.

La lentitud se debe a la excesiva carga procesal que soporta el médico legal y por el reducido tiempo con el que cuenta para generar un informe legal. Además, este problema también se debe a que en los días festivos se disminuye la cantidad de encargados de las áreas de peritaciones legales, sin tener en cuenta que el porcentaje de diligencias presentadas es mucho mayor que cualquier otro día, ocasionando, de esta manera, un mal diagnóstico y sobrecarga de trabajo para los médicos legistas que trabajan estos días. En consecuencia, a fin de año se observa la acumulación de diligencias sin resolver en el Poder Judicial.

Por otro lado, la baja calidad de los informes legales es una consecuencia del escaso rendimiento o pobre formación profesional de muchos médicos legistas. Esto se debe principalmente a que las universidades, con sus contadas y conocidas excepciones, se encuentran en una crisis académica. Cabe mencionar que la única universidad que se encarga de formar médicos legales es la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Además, hay que considerar los actos de corrupción dentro de las investigaciones de los médicos legales, lo cual únicamente depende de la formación moral de estos profesionales, trayendo como consecuencia un diagnóstico no objetivo.

Finalmente, también es necesario considerar que existen varios tipos de peritos médico legales, como el que pertenece al estado (médico legista), el que pueda designar un juez para una diligencia o el que las partes en conflicto puedan designar. Todos estos tienen diferentes diagnósticos de la cronología de la equimosis, lo cual genera controversias y, por ende, desconfianza.

1.3.OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo principal

Desarrollar un sistema inteligente utilizando redes neuronales artificiales y procesamiento de imágenes para obtener con mayor precisión y en tiempo real un diagnóstico de la edad de una equimosis.

1.3.2. Objetivos secundarios

Construir un banco de casos de equimosis para la implementación de esta investigación.

Implementar una aplicación de procesamiento de imágenes para la obtención del color promedio de la zona indurada de la equimosis utilizando la técnica RGB de la metodología de colorimetría.

Identificar las principales características físicas del individuo lesionado que influyen en el diagnóstico de la cronología de la equimosis.

Diseñar un modelo de red neuronal artificial apropiada para determinar de forma eficiente y en tiempo real el número de días de la edad de una equimosis.

1.4.JUSTIFICACIÓN

El Anuario Estadístico 2009 del Ministerio Público es un documento técnico elaborado por la Oficina de Racionalización y Estadística de la Oficina Central de Planificación y Presupuesto, que contiene, en forma sumaria, información sobre el quehacer institucional a través de sus unidades orgánicas a nivel nacional, contribuyendo, a partir de la actividad estadística como instrumento de gestión, con los objetivos institucionales. Gracias a este documento se podrá realizar un análisis de la importancia del sistema inteligente planteado en esta tesis.

A 31 de diciembre del año 2009 el Ministerio Público contó con un total de 1,012 fiscalías operativas, incrementándose el número de fiscalías en un 4.8% en relación a las existentes en el año 2008 (966 fiscalías), en un 16.3% con respecto a diciembre de 2007 (870 fiscalías), en un 20.8% con respecto a diciembre de 2006 (838 fiscalías) y en un 37.9% con respecto a diciembre de 2005 (734 fiscalías).

El incremento del número de fiscalías es una respuesta a la gran cantidad de diligencias judiciales existentes, las cuales van creciendo año tras año. En consecuencia, se puede afirmar que el número de casos clínicos de equimosis está también creciendo anualmente.

Así mismo en el 2009, el distrito judicial de Lima concentró el mayor número de fiscalías con 176 fiscalías (17.4%), siguiéndole Cusco con 55 (5.4%) y Piura con 49 (4.8%) fiscalías, entre otras.

Con los porcentajes anteriores se deduce que la ciudad de Lima es el lugar más adecuado para obtener nuestro banco de casos de equimosis para así poder implementar el sistema inteligente.

Las divisiones médico legales, informaron que durante el año 2009 registraron un total de 850,806 servicios médico legales, de los cuales 578,753 (68.02%) correspondió a los servicios de Reconocimientos Clínico Forenses.

Como se observa, los servicios de Reconocimientos Clínico Forenses abarcan el mayor porcentaje de servicios registrados en el 2009, dentro de los cuales se incluye el diagnóstico de la cronología de las equimosis.

Como observamos en la siguiente tabla, existen 30 Divisiones Médicos Legales a nivel nacional, las cuales han prestado 343,224 servicios clínicos forenses de reconocimientos clínicos, muchas de las cuales han incluido evaluaciones de equimosis. De aquí nace la

razón de ser de esta investigación, ya que se enfoca a apoyar la tarea del médico legista en la resolución de las diligencias asignadas.

DIVISIONES MÉDICO LEGALES	CLINICO FORENSE					
	RECONOCIMIENTOS CLINICOS	GINECO-OBSTETRICIA Y SEXOLOGIA	RECONOCIMIENTO DE PSIQUIATRIA	RECONOCIMIENTO PSICOLOGICO	ELECTROCARDIOGRAFIA	SUB TOTAL
DIVISION MÉDICO LEGAL II AMAZONAS	2719	369	1	1481	0	4570
DIVISION MÉDICO LEGAL II ANCASH	4365	290	0	1694	0	6349
DIVISION MÉDICO LEGAL II APURIMAC	6630	452	18	3463	0	10563
DIVISION MÉDICO LEGAL III AREQUIPA	30380	2234	305	14261	0	47180
DIVISION MÉDICO LEGAL II AYACUCHO	9261	631	0	3664	0	13556
DIVISION MÉDICO LEGAL II CAJAMARCA	6312	640	0	1597	0	8549
DIVISION MÉDICO LEGAL II CALLAO	12244	963	0	4657	0	17864
DIVISION MÉDICO LEGAL II CAÑETE	4185	434	0	1171	0	5790
DIVISION MÉDICO LEGAL II LIMA NORTE	38974	3059	869	9338	0	52240
DIVISION MÉDICO LEGAL II CUSCO	14851	2078	154	6076	0	23159
DIVISION MÉDICO LEGAL II HUANCAYELICA	2301	127	0	121	0	2549
DIVISION MÉDICO LEGAL II HUÁNUCO	5106	468	59	1097	0	6730
DIVISION MÉDICO LEGAL II HUAURA	10514	799	99	3944	0	15356
DIVISION MÉDICO LEGAL II ICA	12759	954	0	2951	0	16664
DIVISION MÉDICO LEGAL III JUNÍN	16938	1406	386	5592	0	24322
DIVISION MÉDICO LEGAL II LA LIBERTAD	13764	1067	317	5239	0	20387
DIVISION MÉDICO LEGAL III LAMBAYEQUE (CHICLAYO)	29946	2465	23	12050	0	44484
DIVISION MÉDICO LEGAL II LIMA ESTE	43044	4867	209	12778	0	60898
DIVISION MÉDICO LEGAL II LIMA SUR	15350	1712	207	4221	0	21490
DIVISION MÉDICO LEGAL II DE LORETO	8061	1093	0	2359	0	11513
DIVISION MÉDICO LEGAL II MADRE DE DIOS	3602	471	0	1740	0	5813
DIVISION MÉDICO LEGAL II MOQUEGUA	5507	281	3531		0	9319
DIVISION MÉDICO LEGAL II DE PASCO	1707	127	81	405	0	2320
DIVISION MÉDICO LEGAL II PIURA	11197	951	159	2990	0	15297
DIVISION MÉDICO LEGAL II DE PUNO	7107	679	0	2712	0	10498
DIVISION MÉDICO LEGAL II SAN MARTÍN	5165	754	1	2134	0	8054
DIVISION MÉDICO LEGAL I SANTA	4142	390	171	1126	0	5829
DIVISION MÉDICO LEGAL II TACNA	8716	620	0	4279	0	13615
DIVISION MÉDICO LEGAL II TUMBES	3625	343	1	1469	48	5486
DIVISION MÉDICO LEGAL I UCAYALI	4752	559	1		1243	6555
TOTAL	343224	31283	6592	114609	1291	496999

Tabla 1.1. Número de casos de reconocimientos clínicos por División Médico Legal [OCP 2009].

Ya que esta investigación se realizó en la División Médico Legal de Lima Centro, a continuación presentamos algunos cuadros estadísticos de los delitos en las fiscalías provinciales de Lima, denotando que el delito contra la vida, el cuerpo y la salud ocupa el puesto 6 con un 9.94% de todos los delitos presentados en un año.

Delito Específico	Casos	%
CONTRA EL PATRIMONIO	20,631	32.46
DELITO CONTRA LA SEGURIDAD PUBLICA	9,104	14.32
DELITO CONTRA LA ADMINISTRACION PUBLICA	7,796	12.27
CONTRA LA LIBERTAD	7,344	11.55
DELITOS CONTRA LA FE PUBLICA	7,020	11.04
CONTRA LA VIDA/EL CUERPO Y LA SALUD	6,316	9.94
CONTRA LA FAMILIA	2,125	3.34
CONTRA LA TRANQUILIDAD PUBLICA	1,348	2.12
CONTRA LA CONF.Y.LA.BUEN.FE.EN.NEGOCIOS	668	1.05
DELITOS AMBIENTALES	324	0.51
CONTRA EL ORDEN FINANCIERO Y MONETARIO	218	0.34
NO TIPIFICADO	186	0.29
CONTRA EL ORDEN ECONOMICO	127	0.20
INFRACCION AL CODIGO PENAL (FALTAS)	58	0.09
TENTATIVA	50	0.08
CONTRA LOS DERECHOS INTELECTUALES	49	0.08
LAVADO DE ACTIVOS	45	0.07
DELITOS CONTRA LA HUMANIDAD	45	0.07
DELITOS TRIBUTARIOS Y ADUANEROS	29	0.05
CONTRA EL PATRIMONIO CULTURAL	25	0.04
CONTRA.PODER.DEL.ESTADO Y ORDEN CONSTIT.	14	0.02
CONTRA EL ESTADO Y LA DEFENSA NACIONAL	13	0.02
CONTRA EL HONOR	12	0.02
DELITOS CONTRA LA VOLUNTAD POPULAR	10	0.02
DELITOS ADUANEROS (LEY 28008)	4	0.01
TOTAL	63,561	100.00

Tabla 1.2. Número de Casos registrados según delito en las Fiscalías provinciales de Lima [OCPD 2009].

De acuerdo a los datos de la Tabla 1.3, en el 2009 se presentaron 2410 casos de lesiones del delito contra la vida, el cuerpo y la salud, siendo este un 38.17% de uno de los delitos de mayor incidencia a nivel nacional. En consecuencia, la implementación de un sistema inteligente para la datación de las equimosis podría ser de gran utilidad para la sentencia de los casos penales. Para mayor detalle de las estadísticas del Anuario del Ministerio Público revisar el Anexo A

Delito Específico	Casos	%
CONTRA LA VIDA/EL CUERPO Y LA SALUD	1861	29.47
LESIONES	1626	25.75
LES.GRAV.(PELIGRO.INMINENTE.DE.LA.VIDA)	348	5.51
LESIONES (LEVES)	267	4.23
LESIONES (CULPOSAS)	517	8.19
HOMICIDIO (CULPOSO)	296	4.69
HOMICIDIO	494	7.82
E.P.A.P.P.(EXPOSICION O ABANDONO PELIG.)	251	3.97
LESIONES CULPOSAS (GRAVES)	125	1.98
ABORTO	70	1.11
LES.GRAV.(DAÑOS FISICO O PSQUICO)	88	1.39
EXPOS. PEL. O ABAND. DE PERS. EN PELIGRO	35	0.55
E.P.A.P.P.(OMISION DE SOCORRO)	65	1.03
LES.GRAV.(SEGUIDAS DE MUERTE)	40	0.63
E.P.A.P.P.(DE PERSONAS DEPENDIENTES)	34	0.54
HOM.CAL. (FEROCIDAD O LUCRO)	46	0.73
E.P.A.P.P.(OMISION DE AUXILIO INMEDIATO)	24	0.38
ABORTO (NO CONSENTIDO)	11	0.17
E.P.A.P.P.(FORMAS AGRAVADAS)	11	0.17
ABORTO (AUTO-ABORTO)	11	0.17
LES.GRAV.(FORMAS AGRAV- MENOR COMO VICTIMA)	6	0.10
HOMICIDIO (PARRICIDIO)	14	0.22
ABORTO (CONSENTIDO)	8	0.13
INSTIGACION AL SUICIDIO	9	0.14
HOM.CAL. (CRUELDAD,ALEVOSIA O VENENO)	14	0.22
ABORTO (PRETERINTENCIONAL)	4	0.06
HOM.CAL. (FACILITAR U OCULTAR DELITO)	6	0.10
HOMICIDIO (INFANTICIDIO)	1	0.02
HOMICIDIO CULPOSO (AGRAVADO)	6	0.10
ABORTO (CAUSADO POR PROFESIONAL)	2	0.03
LES.GRAV. (MUTILAC.INCAP.ORG.PRINCIPAL)	7	0.11
LESIONES LEVES (SEGUIDAS DE MUERTE)	3	0.05
LES.GRAV.(FORMAS AGRAV- MENOR COMO VICTIMA)	5	0.08
ABORTO CONSENTIDO (SEGUIDO DE MUERTE)	1	0.02
LESIONES (PRETERINTENCIONALES)	2	0.03
HOM.CAL. (FUEGO.EXPLOSION.O.MED.PELIGR.)	4	0.06
HOMICIDIO (EMOCION VIOLENTA)	2	0.03
LESIONES CULPOSAS(DAÑOS AL CONCEBIDO)	1	0.02
TOTAL	6315	100.00

Tabla 1.3. Detalle del delito contra la vida, el cuerpo y la salud [OCPD 2009].

Además, cabe mencionar, dentro de la justificación de este trabajo, dos estudios realizados en diferentes partes del mundo sobre la imprecisión del diagnóstico de la edad de las equimosis por parte de los médicos legales.

El primero fue realizado por M.L. Pilling en UK – Londres en el 2010 [Pilling+ 2010], cuyo propósito fue determinar la exactitud con que los expertos forenses pueden visualizar la edad de una contusión producida a partir de fotografías en condiciones normales. El método que utilizó consistió en tomar fotografías diarias secuenciales de las

equimosis causadas a ciertos individuos hasta que ya no eran visibles a simple vista. Seguidamente, a quince expertos forenses que no sabían la edad se les pidió estimar las edades de las contusiones y también poner las fotografías en orden cronológico. Los resultados fueron los siguientes, en imágenes cuya edad van desde 0 hasta 209 h. Hubo una considerable inter e intra-observador variabilidad de la precisión (diferencia media entre la edad estimada y la edad real = 26,0 h) (IC 95%: 24,0-31,0 h). Por otro lado, hubo una mayor precisión para los moretones fotografiados entre 0 y 12 h. Además, no se observaron diferencias significativas entre los observadores hombres o mujeres ($p = 0,553$) y el rendimiento también no se vio afectado por la edad del observador ($p = 0,160$). De las imágenes de los hematomas en orden cronológico, > 80% de los observadores cometió entre 0 y 2 errores. Siendo la conclusión de este primer estudio que la estimación de la edad de los hematomas, evaluada por expertos forenses a partir de fotografías, no son confiables. Sin embargo, parece que la gran mayoría de los observadores están en mejores condiciones para ordenar las fotografías de los hematomas en su orden cronológico.

El segundo fue realizado por cuatro doctoras del Departamento de Pediatría del Hospital de Niños en Ontario – Canadá en el 2004 [Bariciak+ 2003], cuyo objetivo fue determinar si los médicos pueden estimar con precisión la edad de una contusión accidental en un examen físico directo. El método consistió en estudiar a los niños que acudieron al servicio de urgencias de un hospital con contusiones accidentales de edad conocida y con información necesaria sobre las mismas. Los médicos examinaron de forma independiente el área del hematoma y registraron las características de las lesiones, la estimación de la edad y una lista de características que influyeron en su respectiva estimación. En los resultados se observó que las estimaciones médicas de la edad de los moretones son muy imprecisas. Dándose una gran variabilidad individual en las estimaciones y, por ende, una pobre confiabilidad. Este estudio apoya al estudio anterior, instando a tener más prudencia en la estimación de la edad de los moretones, aun cuando las estimaciones se basan en el examen directo de la zona lesionada.

1.5.ALCANCE

Como hemos mencionado hasta el momento, esta investigación se desarrolla en el campo médico legal, el cual es un sistema bastante grande como para poder abarcarlo con plenitud y eficiencia, por lo que se ha decidido estudiar específicamente los casos de peritaciones de contusiones simples. No se pretende dar respuesta a todos los tipos de contusiones simples. La intención es más bien abordar el diagnóstico de las contusiones simples enfocadas especialmente en las equimosis.

Por otra parte, el objetivo de este sistema es servir de apoyo a la toma de decisiones de los jueces o fiscales, facilitando el trabajo de los médicos legistas, mas no se pretende que el diagnóstico del sistema inteligente sea decisorio para establecer la pena en el Poder Judicial.

Esta investigación se desarrolló en la División Médico Legal de Lima Central, debido a que el experto de esta investigación se encuentra laborando en este lugar. La técnica que se está utilizando para el procesamiento de imágenes es el modelo RGB del método de colorimetría, así mismo, para el entrenamiento y validación de los casos clínicos se usará el comando `imtool` de la herramienta matemática Matlab. Además el proceso de reconocimiento de imágenes sólo trabaja con imágenes que abarcan exclusivamente la zona de equimosis, los cuales serán previamente recortados.

1.6.PROPUUESTA

La propuesta que se está planteando en el presente trabajo es desarrollar una red neuronal artificial apoyada en el procesamiento de imágenes para generar con mayor exactitud la datación de una equimosis; para lo cual será necesario hacer un estudio minucioso, partiendo desde la construcción del banco de casos de equimosis, la obtención del color promedio de la zona indurada de la equimosis por medio del procesamiento de imágenes, la normalización de los datos, el diseño, entrenamiento y validación de redes neuronales artificiales, y finalmente la comparación y selección de la red neuronal artificial más adecuada.

La figura 1.1 muestra el modelo mental de esta investigación, el cual parte desde el lesionado, el cual es examinado por el doctor legista, quien extrae las características físicas principales como el color de piel, edad, sexo, presencia de tejido laxo, tejido óseo y vascular en la zona afectada y la temperatura ambiental en que se produjo la equimosis. Por otro lado, se recorta la fotografía del lesionado, abarcando solamente el área del moretón, para que la aplicación de procesamiento de imágenes pueda obtener el píxel RGB promedio de la zona indurada, cuyos tres valores también formarán parte de las variables de entrada de la red neuronal artificial, al igual que las características físicas del lesionado. Para que finalmente la red neuronal artificial obtenga como salida el diagnóstico de la edad de la equimosis.

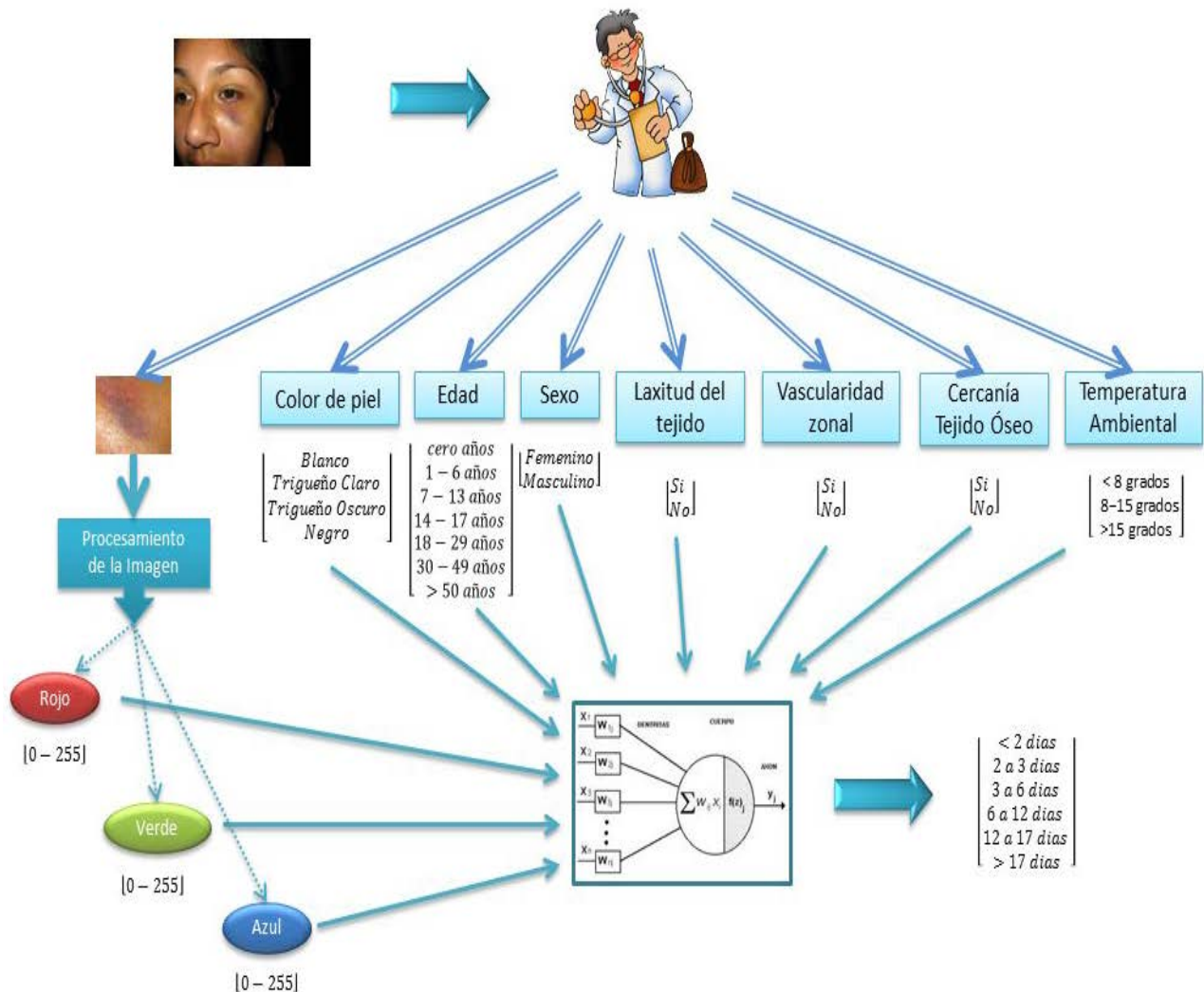


Figura 1.1. Modelo mental de la tesis.

1.7.ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

La presente tesis está organizada en seis capítulos, los cuales se mencionan a continuación:

En el capítulo 2, se realiza el estudio del marco teórico de la estructura del Poder Judicial hasta llegar a las Divisiones Médico Legales, también incluye los principales conceptos de contusiones simples enfocándose en las equimosis, así mismo abarca los principales conceptos sobre redes neuronales artificiales.

En el capítulo 3, se realiza el estudio del estado del arte de los métodos actualmente existentes para la datación de las equimosis, las técnicas del método de colorimetría, también se mencionan algunas investigaciones que sirvieron de base para la obtención de las variables de esta investigación y, finalmente, se listan unos estudios semejantes que se han desarrollado en otras áreas.

En el capítulo 4, se diseñará la red neuronal artificial, para lo cual se empezará con la descripción del esquema general del desarrollo de la propuesta, la construcción del banco de casos de equimosis, el procesamiento de imágenes, la normalización de los valores de los datos y los diseños de las redes neuronales artificiales.

En el capítulo 5, se implementará las redes neuronales artificiales, comenzando con el entrenamiento y validación de siete redes neuronales, para que finalmente se haga un análisis y comparación de resultados, con la finalidad de hallar la red neuronal más eficiente para el diagnóstico de la datación de equimosis.

En el capítulo 6, se presentan las conclusiones y los posibles trabajos futuros.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Este capítulo se incluirán los conceptos principales que vamos a utilizar para la formulación y desarrollo de esta tesis, los cuales se dividen en cuatro partes, la primera parte abarca el sistema judicial peruano, en la segunda, las definiciones y tipos de contusiones, la tercera, los conceptos de equimosis y la última parte abarca toda la información esencial sobre redes neuronales artificiales.

2.1.SISTEMA JUDICIAL PERUANO

Los siguientes conceptos se desarrollaron según la información encontrada en la página web oficial del Ministerio Público – Fiscalía de la Nación [MPFN 2011].

2.1.1. Poder Judicial del Perú

El Poder Judicial del Perú es un organismo de la República del Perú constituido por una organización jerárquica de instituciones, que ejercen la potestad de administrar justicia, que emana del pueblo. Está encabezado por el Presidente y por la Corte Suprema de la República que tiene competencia en todo el territorio.

2.1.2. Ministerio Público

Es el organismo constitucional autónomo creado por la Constitución Política del Perú en 1979, con la misión fundamental de defender la legalidad y los Derechos Humanos.

Misión del Ministerio Público

Defender la legalidad y los intereses públicos tutelados por la ley; prevenir y perseguir el delito; defender a la sociedad, al menor y a la familia en juicio; velar por la independencia de los órganos jurisdiccionales y por la recta administración de justicia.

Visión del Ministerio Público

Ser reconocido nacional e internacionalmente como una institución moderna y confiable, consolidada por la excelencia de sus servicios y el *adecuado soporte médico, legal y forense; que contribuye a una recta y real administración de justicia y de esta manera a la convivencia pacífica y al desarrollo de la sociedad.*

2.1.3. Sistema Fiscal

Está conformado por el Fiscal de la Nación, los Fiscales Supremos, los Fiscales Adjuntos Supremos, los Fiscales Superiores, los Fiscales Adjuntos Superiores, los Fiscales Provinciales y los Fiscales Adjuntos Provinciales, quienes actúan independientemente, según su propio criterio.

El Ministerio Público cumple a través de los fiscales varias funciones, de las cuales mencionaremos aquellas que competen a esta investigación:

- Velar por la independencia de los órganos jurisdiccionales y por la recta administración de Justicia.
- Representar a la sociedad en los procesos judiciales.
- *Conducir, desde su inicio, la investigación del delito.*
- Emitir dictamen previo a las resoluciones judiciales, en los casos que la Ley contempla.

2.1.4. Instituto de Medicina Legal

El Instituto de Medicina Legal “Leónidas Avendaño Ureta” por su naturaleza, es un órgano desconcentrado del Ministerio Público.

Misión del instituto de Medicina Legal

Brindar consultoría y asesoría técnica Forense especialidad y científica que requieran la función fiscal, judicial y otros que colaboren con la administración de Justicia.

Brindar docencia universitaria para formar recursos humanos especializados en pre-grado y pos-grado, así como realizar investigación científica para garantizar una mejora continua de la especialidad y contribuir al desarrollo del país.

Visión del instituto de Medicina Legal

Ser el Órgano Rector de la Medicina Legal y Ciencias Forenses a Nivel Nacional que brinde servicios especializados con calidad, eficiencia, ética y respetando las normas jurídicas, contribuyendo positivamente a la administración de justicia en el Perú.



Figura 2.1. Estructura Orgánica del instituto de Medicina Legal [Página web oficial del Ministerio Público – Fiscalía de la Nación].

2.2. CONTUSIONES

Según Gisbert Calabuig [Calabuig+ 2004], las contusiones son lesiones producidas por acción de cuerpos duros de superficie obtusa o roma, que actúan sobre el organismo por intermedio de una fuerza viva más o menos considerable. Según las características de los cuerpos contundentes y la cuantía de la fuerza viva, los efectos lesivos sobre el organismo varían en su grado, dando lugar a diferentes tipos de lesiones contusas.

- Contusiones simples con integridad de la piel
 - Equimosis
 - Contusiones profundas
 - Derrames de serosidad
 - Derrame cavitarios
- Contusiones simples con lesión cutánea
 - Erosiones
 - Heridas contusas

2.3.EQUIMOSIS

Según Pedro Mata [Mata 1857] las equimosis son contusiones superficiales, sin afectación de la piel, limitándose sus efectos a la laceración del tejido celular subcutáneo, lo que tiene como consecuencia la dislaceración o desgarro de filetes nerviosos (produciendo dolor) y de los vasos sanguíneos y linfáticos (produciendo derrame).

Según la intensidad de la contusión y por consiguiente del derrame sanguíneo, se distinguen varias categorías.

- Equimosis propiamente dicha, llamada también cardenal, en el que la sangre se filtra en los tejidos en forma laminar.
- Equimoma, que se diferencia del anterior por su más amplia extensión.
- Sugilaciones, o equimosis de succión (amorosos), cuya forma ovalada reproduce aproximadamente el orificio bucal.
- Petequias, equimosis de pequeñas dimensiones, reunidas a menudo en conjuntos o agrupaciones llamados muy expresivamente punteado hemorrágico.
- Hematoma. La sangre, en lugar de infiltrarse en el tejido celular, se colecciona en una bolsa subcutánea, formada por el desprendimiento de la piel de su adherencia a los planos profundos.
- Bolsa sanguínea. Es un hematoma de mayores dimensiones, formando una acentuada prominencia de la superficie de la piel. La sangre de la periferia de esta colección sanguínea se coagula al contacto con los tejidos, formando un rodete duro que contornea una zona blanda depresible.

2.4.REDES NEURONALES ARTIFICIALES (RNA)

Según Freeman, J. A. y Skapura, D. M. [Freeman+ 1992] las RNA son algoritmos implementados en forma de programa informático o modelo electrónico, influenciados por el funcionamiento del cerebro humano. Este proceso consiste en almacenar información en patrones, utilizarlos y resolver problemas con ellos, intentando reproducir el

comportamiento humano mediante ordenadores. Las RNA no utilizan conceptos de programación propios de otros sistemas de inteligencia artificial, sino que utilizan mecanismos de procesamiento paralelo, entrenamiento de pesos, etc.

Los conceptos desarrollados en las siguientes secciones están basados en el libro de Raquel Flórez [Flórez+ 2008].

2.4.1. Fases de modelización

Hay dos fases en la modelización con redes neuronales:

Fase de entrenamiento: Se usa un conjunto de datos o patrones de entrenamiento para determinar los pesos (parámetros) que definen el modelo de red neuronal. Se calculan de manera iterativa, de acuerdo con los valores de los valores de entrenamiento, con el objeto de minimizar el error cometido entre la salida obtenida por la red neuronal y la salida deseada.

Fase de prueba: en la fase anterior, el modelo puede que se ajuste demasiado a las particularidades presentes en los patrones de entrenamiento, perdiendo su habilidad de generalizar su aprendizaje a casos nuevos (sobreajuste). Para evitar el problema del sobreajuste, es aconsejable utilizar un segundo grupo de datos diferentes a los de entrenamiento, el grupo de validación, que permita controlar el proceso de aprendizaje.

2.4.2. Clasificación de las redes neuronales

Las redes neuronales se clasifican comúnmente en términos de sus correspondientes algoritmos o métodos de entrenamiento: redes no supervisadas y redes de entrenamiento supervisado.

Reglas de entrenamiento Supervisado: las redes neuronales de entrenamiento supervisado son las más populares. Los datos para el entrenamiento están

constituidos por varios pares de patrones de entrenamiento de entrada y de salida. El hecho de conocer la salida implica que el entrenamiento se beneficia de la supervisión de un maestro. Dado un nuevo patrón de entrenamiento, en la etapa $(m + 1)$ -ésima, los pesos se adaptan de la siguiente forma:

$$W_{ij}^{m+1} = W_{ij}^m + \Delta W_{ij}^m$$

Se puede ver un diagrama esquemático de un sistema de entrenamiento supervisado en la Figura 2.2.

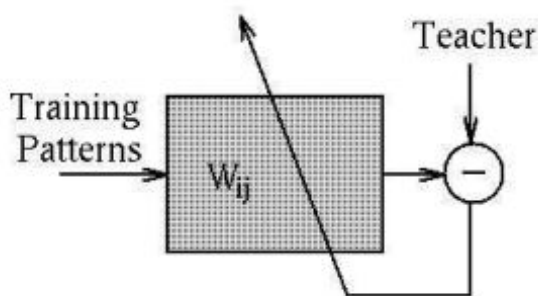


Figura 2.2. Entrenamiento supervisado [Flórez+ 2008].

2.4.3. Estructuras de conexión

Una red neuronal está determinada por la neurona y la matriz de pesos. El comportamiento de la red depende en gran medida del comportamiento de la matriz de pesos. Hay tres tipos de capas de neuronas: la de entrada, las ocultas y la de salida. Entre dos capas de neuronas existe una red de pesos de conexión, que puede ser de los siguientes tipos: Hacia delante, hacia atrás, lateral y de retardo.

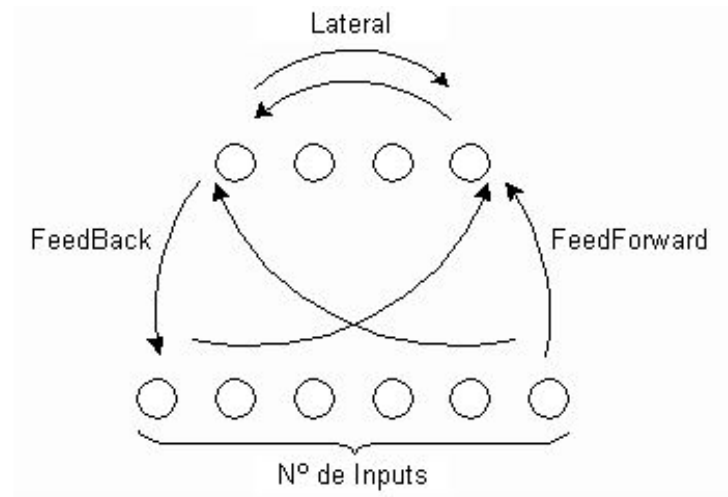


Figura 2.3. Estructuras de conexión entre neuronas [Flórez+ 2008].

Conexiones hacia delante: Los datos de las neuronas de una capa inferior son propagados hacia las neuronas de la capa superior por medio de las redes de conexiones hacia adelante.

Conexiones hacia atrás: Los datos de las neuronas de una capa superior son propagados hacia las neuronas de la capa inferior por medio de las redes de conexiones hacia adelante.

Conexiones con retardo: Los elementos de retardo se incorporan en las conexiones para implementar modelos dinámicos y temporales, es decir, modelos que precisan de memoria.

2.4.4. Componentes de una neurona artificial

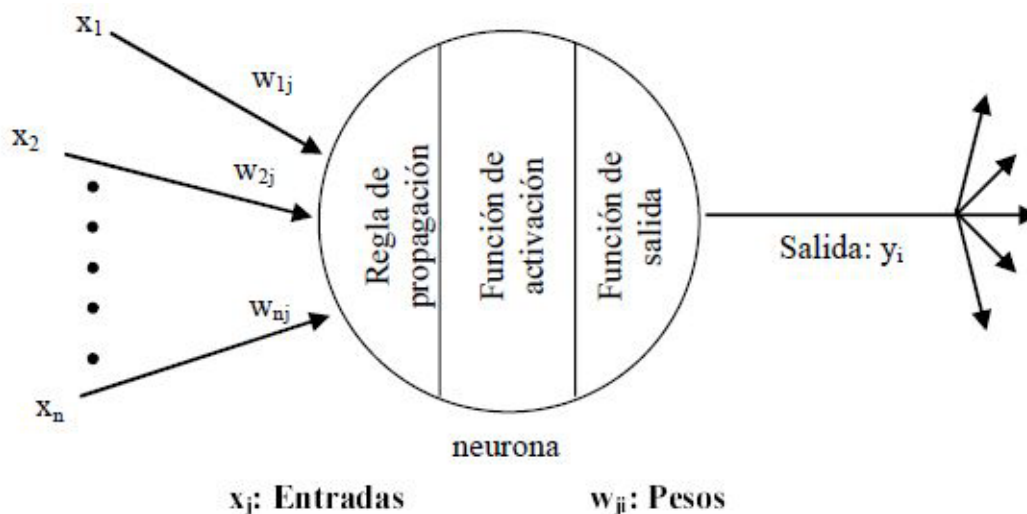


Figura 2.4. Elementos básicos de una neurona artificial [Flórez+ 2008].

Estímulos o entradas

Son las variables procedentes del exterior que pueden tener naturaleza binaria o continua, dependiendo del tipo de redes y de la tarea analizada. Las neuronas de capas superiores a la de la entrada reciben como inputs las salidas generadas por las unidades de las capas previas, acompañadas de un peso indicativo de su importancia relativa.

De esta forma cada neurona j -ésima de la red recibe un conjunto de señales que le proporcionan información del estado de activación de todas las neuronas con las que se encuentra conectada. Cada conexión (sinapsis) entre la neurona i y la neurona j está representada por un peso W_{ij} .

Función de propagación

Es aquella regla que establece el procedimiento de combinar los valores de entrada a una unidad y los pesos de las conexiones que llegan a esa unidad.

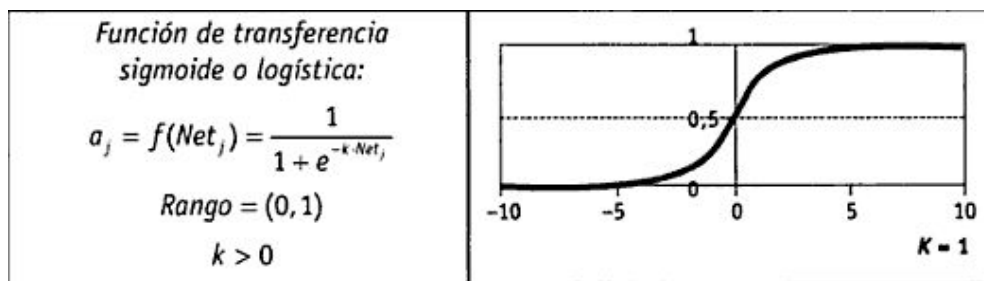
En la práctica es común el empleo de una matriz W integrada por todos los pesos W_{ij} indicativos de la influencia que tiene la neurona i sobre la neurona j , siendo W un conjunto de elementos positivos, negativos o nulos. Si W_{ij} es positivo, la interacción entre las neuronas i y j es excitadora, por lo contrario, si W_{ij} es negativo, la sinapsis será inhibitoria. Finalmente, si W_{ij} es cero, se considera que no existe conexión entre ambas neuronas.

La función más habitual es de tipo lineal y se basa en la suma ponderada de las entradas con los pesos sinápticos a ellas asociados, es decir:

$$Net_j(t) = \sum_i W_{ij} * x_i(t)$$

Función de activación o transferencia

Combina la entrada total a la j -ésima neurona o potencial post.sináptico (Net_j). Con carácter general pueden distinguirse seis funciones de transferencia típicas: Función lineal o identidad, función escalón o signo, función mixta o lineal por tramos, función sigmoidea, función gaussiana y la función sinusoidal.



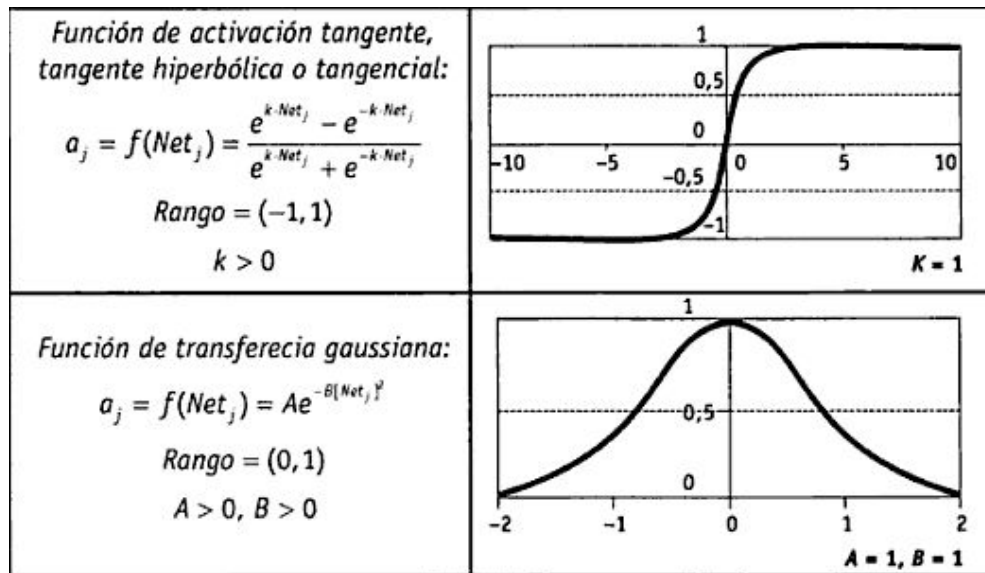


Figura 2.5. Funciones principales de Activación [Flórez+ 2008].

Función de salida

La función de salida simplemente toma el valor que la función de activación produjo para los valores obtenidos por la función de propagación dentro de la neurona.

2.4.5. El Perceptrón multicapa

Es una red de alimentación hacia adelante (feedforward) compuesta por una capa de unidades de entrada (sensores), otra capa de unidades de salida y un número determinado de capas intermedias de unidades de proceso, también llamadas capas ocultas porque no tienen conexiones con el exterior. Cada sensor de entrada está conectado con las unidades de la segunda capa, y cada unidad de proceso de la segunda capa está conectada con las unidades de la primera capa y con las unidades de la tercera capa, así sucesivamente. Las unidades de salida están conectadas solamente con las unidades de la última capa oculta.

La capa de entrada está formada por un número de neuronas fijado por el número o cantidad de información que se quiere procesar con la red. Esta capa simplemente transmite la información de entrada al interior de la red, sus neuronas están totalmente interconectadas con la capa oculta.

La capa oculta realiza un procesamiento de la información de entrada a sus neuronas mediante una función de transferencia. Las neuronas están totalmente interconectadas con las neuronas de la capa de entrada y cada conexión lleva asociada un peso, de forma que la entrada a la neurona oculta será una combinación lineal de las entradas ponderadas por los pesos que entran en dicha neurona oculta. La salida de cada neurona se obtendrá aplicando la función de transferencia sobre cada combinación.

La capa de salida está totalmente interconectada con la capa oculta, y un peso asociado a cada conexión y el procesamiento de la información de las neuronas de salida es la suma de señales de salida de la capa oculta ponderada por los pesos. Las entradas a las neuronas de salida serán también una combinación lineal de la salida de las neuronas ocultas y la salida de la red se obtendrá aplicando la función sobre dicha combinación.

2.4.6. Back – Propagation

El algoritmo de back-propagation [Rumelhart+ 1986] consiste en transmitir el error hacia atrás en la red partiendo de la capa de salida. Este proceso se transmite al resto de las capas, permitiendo actualizar los pesos de acuerdo con las contribuciones de cada nodo. Con esta actualización se vuelve a aplicar la red a los datos disponibles y se vuelve a medir el error, poniéndose en marcha nuevamente el mecanismo hacia atrás. El proceso continuará hasta que el error sea menor que un cierto umbral previamente fijado o bien porque se haya llegado al máximo de iteraciones.

CAPÍTULO III

ESTADO DEL ARTE

Este capítulo muestra lo existente en relación al problema que resolverá la presente tesis, inicia con los métodos actuales para la datación de las equimosis, siendo en su mayoría biológicos y técnicos, luego se mencionan dos técnicas del método de colorimetría, seguidamente se mencionan algunas investigaciones que sirvieron de base para la obtención de las variables de esta investigación, las cuales están agrupadas de la siguiente manera: colores de la equimosis, color de piel del individuo, edad del individuo, vascularidad de la piel y tejido subyacente óseo; finalmente, se listan estudios semejantes que se han desarrollado en otras áreas.

3.1.MÉTODOS PARA LA DATACIÓN DE EQUIMOSIS

3.1.1. Espectroscopia de reflectancia difusa visible

John W. McMurdy y Gregory P. Crawford de la Universidad de Brown [McMurdy+ 2006] crearon un método que consiste en usar espectros de reflexión recolectados a través de un espectrómetro de fibra óptica de reflexión portátil, el cual puede realizar un seguimiento del aumento de la hemoglobina extravasada de la ruptura de los vasos sanguíneos del trauma causado y la posterior retirada de la hemoglobina que ocurre simultáneamente con un aumento en la absorción, atribuido a la descomposición del producto bilirrubina.

3.1.2. Imágenes hiperespectrales

Lise L. Randeberg y Lars O. Svaasand de la Universidad Ciencia y Tecnología de Norway [Randeberg+ 2010] implementaron una mejora a las técnicas espectroscópicas, que proporcionan concentraciones de cromóforo sólo para el volumen de la muestra, y contienen poca información sobre la distribución espacial del cromóforo en el hematoma. Las imágenes hiperespectrales combinan el poder de la imagen y espectroscopia, y pueden proporcionar información espectroscópica y espacial. Además, este método considera una mancha blanca que se puede ver en la zona central de los moretones. Esta zona central blanca se asemeja a la forma del objeto que golpeó la piel y se cree que se desarrollan en áreas donde el impacto causó daños a los vasos sanguíneos.

3.1.3. Concentración cromóforo

Duckworth [Duckworth + 2006] desarrolló un modelo que se basa en el hecho que la concentración relativa de cromóforo es un factor fundamental que determina el color del moretón, el cual es estimado empleando un espectrómetro de imágenes de mano con un pequeño número de longitudes de onda; este método está basado en las propiedades de absorción que define la ley de Beer-Lambert, el cual permite la estimación de la diferencia entre la concentración de cromóforo en la piel moreteada y normal.

3.1.4. Colorimetría

Según Georgieva y sus compañeros [Georgieva+ 2005] este modelo es utilizado mayormente por aplicaciones de software que convierten los datos de una imagen en datos de la colorimetría. La valoración crítica del modelo reveló que el método de colorimetría para determinar la edad de un golpe se vio afectado por el tono de piel y requiere una medida de la proporción de hemoglobina oxigenada que se obtiene por métodos espectrofotométricos.

3.1.5. Espectrofotometría de reflectancia

Vanessa K. Hughes y Neil E. I. Langlois [Hughes+ 2010] implementaron una metodología que obtiene el espectrofotómetro a partir del Cary 100 Bio equipado con una sonda de reflectancia de fibra óptica, y la proporción de hemoglobina oxigenada se calculó utilizando un método de punto isosbético. Este método es más útil que la colorimetría para determinar la edad de los moretones, pero debe ser refinado para proporcionar datos útiles en relación con la edad estimada de un moretón.

3.1.6. Fotografía ultravioleta

Este método se ha utilizado para mostrar las lesiones que ya no son evidentes a simple vista. Destaca contusiones donde hay extravasación de sangre bajo la piel, considerando que los pigmentos de la sangre extravasada absorben la luz ultravioleta, al igual que los melanocitos que migran a los bordes de la lesión.

3.2. TÉCNICAS DE COLORIMETRÍA

Cuando se habla de los colores tenemos que tener en cuenta que el color se puede realizar de diferentes maneras. Los modelos de color se basan según Georgieva [Georgieva+ 2005] en aspectos físicos, fisiológicos y técnicos. Tenemos los siguientes modelos de color:

3.2.1. RGB (Red, Green, Blue)

Para ver cómo funciona un modelo RGB lo primero que hay que ver son los aspectos técnicos del color. El ojo humano percibe la reacción del color a través de una mezcla de señales de color rojo, verde y azul. Como se conoce, cada color puede ser mezclado con sólo estos tres colores primarios.

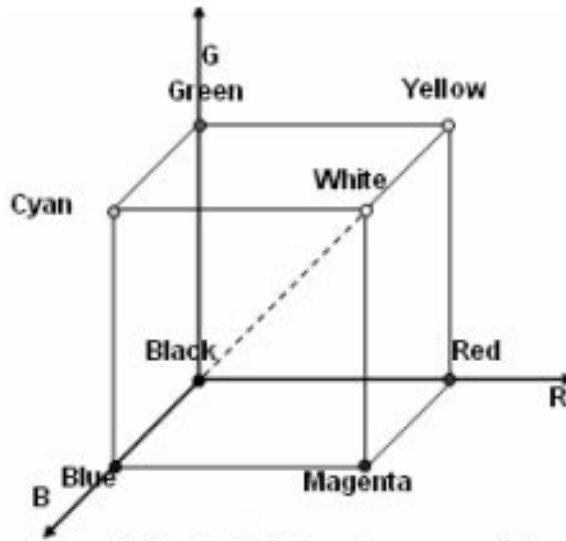


Figura 3.1 Modelo de color RGB [Miyahara + 2005].

3.2.2. HSV (Tono, Saturación, Valor)

El modelo de color HSV, también llamado HSB (Matiz o tono, Saturación, Brillo), define un espacio de color en términos de tres elementos constitutivos:

- El tono es el tipo de color (como el rojo, magenta, azul, verde o amarillo). Los rangos de matiz son de 0 a 360 grados.
- La saturación se refiere a la intensidad del tono específico. Los rangos de saturación son de 0 a 100%.
- El valor se refiere a la luminosidad del color. Los rangos de saturación son de 0 a 100%.

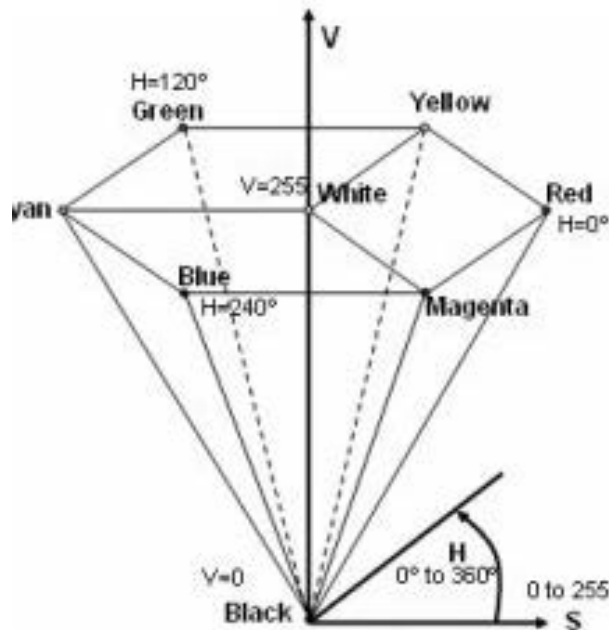


Figura 3.2 Modelo de color HSV [Miyahara + 2005].

3.3.BASES DEL ESTUDIO

3.3.1. Color de las equimosis

3.3.1.1. Análisis cualitativo de la imagen visual de la determinación de la edad del hematoma

Según Dimitrova y sus compañeros [Dimitrova + 2008], la evaluación de las imágenes del color del moretón es una tarea muy importante en la medicina forense. Sin embargo, no existe una metodología estandarizada para llevar a cabo esta tarea. En este trabajo se hizo un intento de revisar los diferentes trabajos publicados en la literatura sobre la evaluación visual de la determinación de la edad de los moretones y así obtener tablas de colores del envejecimiento diario de un moretón. Con base en las tablas de los colores derivados se pueden hacer las siguientes observaciones: (i) el hematoma es de color rojo para el día 1, (ii) no hay color dominante para el día 2, mientras que para el día 3 el azul se está convirtiendo en algo dominante, (iii) de color verde se está convirtiendo en dominante para los días 4 – 6, con el color

amarillo emergente, (iv) para el día 7, no es la coexistencia de verde y amarillo, (v) el amarillo es muy dominante para los días 7 a 14, con el nuevo marrón.

3.3.1.2. Cronología de la equimosis

Según la experiencia del Dr. Gutiérrez [Gutiérrez 2011] se conoce que en efecto, el derrame sanguíneo es el que da su fisonomía peculiar a la contusión superficial, ya que por estar localizado debajo de la piel da a esta una coloración especial, que es el síntoma más importante y el dato fundamental para las deducciones e informes médicos legales.

El colorido de las equimosis evoluciona también con el tiempo. Primero es de un color rojo lívido o rojo oscuro, lo que depende del grosor de la piel que cubre la extravasación, los días sucesivos la tonalidad se va haciendo más oscuro, casi violáceo y aun negruzco, para ir cambiando luego al azulado, después al verde, el cual se aclara gradualmente hasta el amarillo, cada vez más pálido, hasta desaparecer. Además se conoce que el colorido es siempre más marcado en el centro que en la periferia.

	ROJO OSCURO	NEGRUZCO	AZULADO	VERDOSO	AMARILLO	DESAPARICIÓN
SIMONIN	Recientes	2-3 días	3-6 días	7-12 días	12-17 días	A los 25 días
BONNET	Pocas horas	0-3 días	4-6 días	7-12 días	13-21 días	A los 22 días
TOURDES	Pocas horas	2-3 días	3-6 días	12-17 días	> 17 días	-
ASCARELL	Pocas horas	-	5-6 días	7 – 12 días	15-20 días	-
DIVERGIE	Pocas horas		2-3 días	5-7 días	78 días	-

Figura 3.3 Evolución de los colores de una equimosis [Gutiérrez 2011].

3.3.1.3. La percepción de color amarillo en los moretones

V. K. Hughes [Hughes+ 2011] evaluó y concluyó que la presencia del color amarillo en un golpe puede ser considerada como un indicador que no es reciente. Sin embargo, un estudio anterior ha demostrado que los observadores pueden discrepar en su descripción de los colores de una contusión. Este estudio fue diseñado para determinar cómo los observadores perciben la presencia de amarillo. A los sujetos se les mostró una serie de fotografías de un hematoma que había sido modificada digitalmente (Adobe® Photoshop®) para contener cantidades de amarillo. El análisis estadístico indicó que el umbral de la percepción de amarillo en un individuo aumentó un 0,07% cada año, pero el género no tuvo ningún efecto. Los resultados revelan que existe una gran variabilidad en el umbral de percepción del color amarillo en la población general y que la capacidad del sujeto para percibir el amarillo en un hematoma va disminuyendo con la edad.

3.3.1.4. Sistema de reconocimiento de color asistido por ordenador

Lidiya Georgieva y compañeros [Georgieva+ 2005] proponen un resumen del conjunto de colores de un trauma en una descripción gráfica, las relaciones entre ellos y sus diferentes secuencias en el tiempo. Para ello se creó un equipo de software con el que es posible calcular los componentes de los colores del trauma independiente del color de la piel saludable.

En la figura 3.4 se presenta los cambios de color de un moretón según diversos autores. Los números entre corchetes al inicio de las filas representan a los diversos investigadores que serán nombrados en la leyenda de la Figura, en las columnas observamos intervalos de días que representan la evolución de una equimosis. La unión de las filas y columnas se observan rectángulos, los cuales representan los colores de las contusiones según los intervalos de tiempo y según cada investigador.

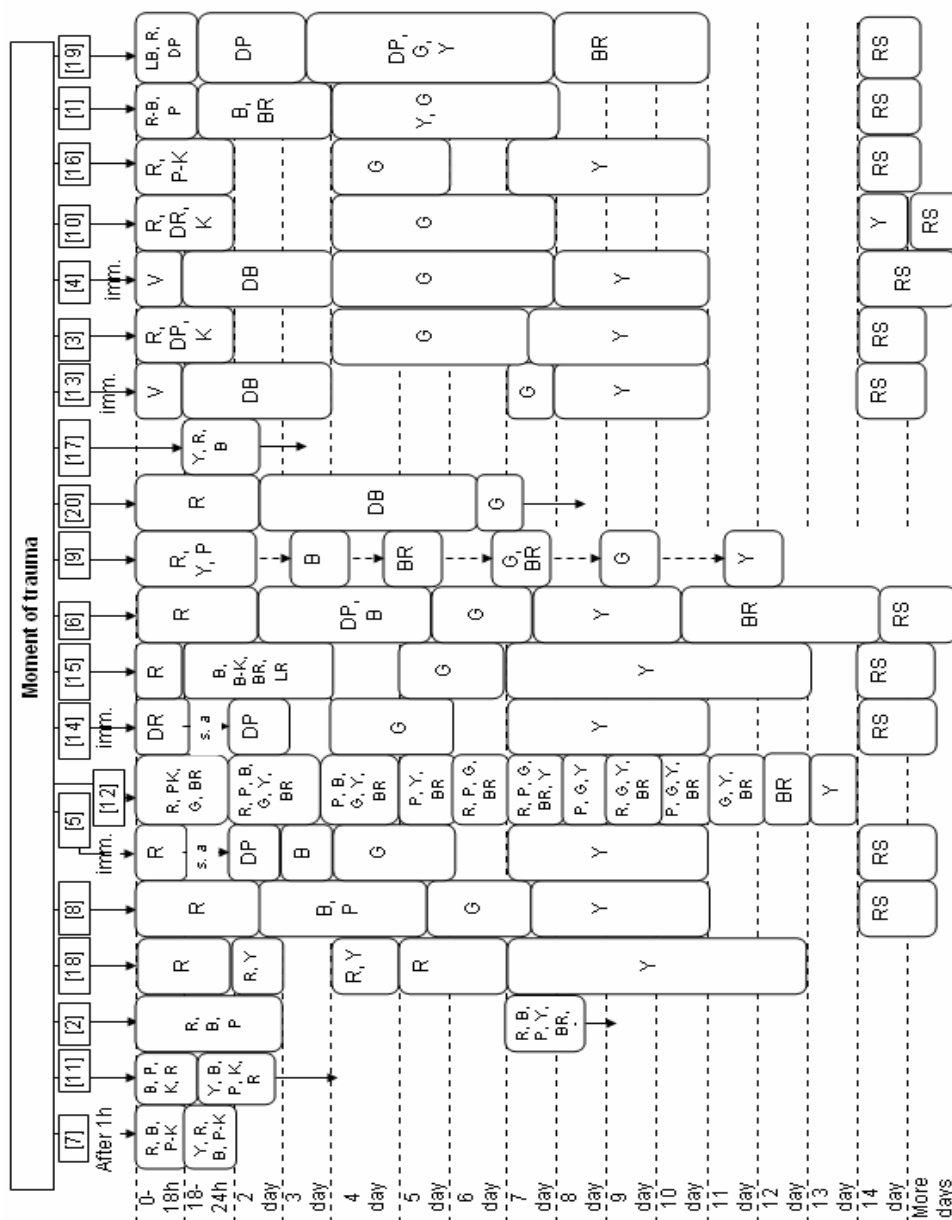


Figura 3.4. Descripción gráfica de los cambios de color de un moretón en el tiempo. [Georgieva+ 2005].

Donde: [1] Adelson L. [2] Bariciak, E., Amy C. Plint, Isabelle Gaboury, Sue Bennett [3] Camps F.E.[4] Glaister J.[5] Hasan Assari Bin Abdullah A.dr., Bruises [6] Jackson L., U.S [7] Langlois, N.E. I. G.A. Gresham.[8] Lauridson J, The Dilemma of Aging Bruise. [9] Lawrence dr Chris, dr Rob Kelsall, [10] Polson C.J. and D.J.Gee. [11] Raizman, FAAP [13] Rentoule E, Smith H. [14] Sadle D. [15] Saxena J.P. [16] Smith S. and F.S. Fiddes, [17] Stephenson T. [18] Stephenson T., Yvona Bialas, [19] Spitz WU, Fisher RS. [20] MedicineNet.com.

B – Azul, BK –Negro azulado; BR – Brown; DB – azul oscuro, DP – Morado Oscuro , DR – Oscuro Rojo, G – Verde; K – Negro, LR – lívido color rojo; LB – azul claro, PK – Morado – Negro; PK – Rosa, R – Rojo, RB – rojo-azul, RS – Resolución; V – Violeta; Y – Amarillo; imm – inmediata; s. a – poco después.

A continuación se presenta un cuadro de la relación de los colores de la evolución de un moretón, pero cabe resaltar que el objetivo de la investigación de Lidiya Georgieva no fue hallar un modelo matemático para la determinación de la zona indurada, sólo le fue importante hallar los intervalos mínimos y máximos de cada color de la equimosis.

Color	statistical	number	Min values			Max values		
			RED	GREEN	BLUE	RED	GREEN	BLUE
yellow	freq	85	156	115	74	230	216	177
	aver	85	155	113	74	227	211	174
red	freq	55	125	37	39	236	163	160
	aver	55	136	47	47	238	161	155
green	freq	50	102	104	103	181	198	197
	aver	50	99	102	106	180	197	193
blue	freq	35	72	86	97	176	191	211
	aver	35	75	88	97	178	188	207
violet	freq	85	132	129	155	255	230	255
	aver	85	134	135	154	253	232	250

Figura 3.5.Intervalos de los colores significativos de una equimosis [Georgieva+ 2005].

3.3.2. Color de piel del individuo

3.3.2.1. Eritema de mano y detector de contusiones

Según Linghua Kong y compañeros [Linghua+ 2008], la decoloración de la piel de las máscaras de melanina dificulta la inspección visual en personas de piel de color oscura. Por lo que existe la necesidad de una tecnología clínica útil que ayude a los médicos en la evaluación de la piel oscura. Este trabajo describe el diseño y desarrollo de los componentes clave requeridos de una cámara multiespectral de mano. Por lo que se ha implementado un mosaico de filtros y un sistema de iluminación que ha sido diseñado para su uso dentro de un dispositivo clínico. El filtro del mosaico se ha desarrollado con cuatro filtros sincronizados con cromóforos de interés a fin de detectar el hematoma y el eritema. Y como compañero de este filtro, ha sido desarrollado un sistema de iluminación que baña la zona de interés con la luz que consiste en

la misma longitud de onda específica por el filtro del mosaico. El mosaico está configurado para ser compatible con los sensores CMOS. De esta forma, las características espectrales del sistema del mosaico e iluminación fueron diseñadas para detectar eritemas y hematomas, especialmente en personas con piel de color oscura.

3.3.3. Edad del individuo

3.3.3.1. La prevalencia y distribución de hematomas en los bebés

R. F. Carpenter [Carpenter 1998] examinó las características de los hematomas de bebés de 6 a 12 meses, tales como la zona, tamaño, forma y color. Además, se recopiló datos como la edad del bebé, la movilidad y el peso, datos demográficos, y los problemas de salud. Este estudio ha producido una prevalencia y distribución de hematomas en los bebés y establece una línea base para trabajar en la evaluación de contusiones. También se probó la metodología, lo que podría ser utilizado en futuras investigaciones, en especial de los bebés más pequeños.

3.3.3.2. El envejecimiento de la contusión en los niños

Terence Stepheson [Stepheson+ 1997] observó que los cambios de color de la herida, así como la hemoglobina extracelular, se dividen en varios pigmentos. La sangre arterial oxigenada es de color rojo, la sangre venosa es oscura. La hemoglobina libre es también roja, pero la biliverdina y la bilirrubina aparecen de color verde a amarillo, y la hemosiderina de amarillo a marrón.

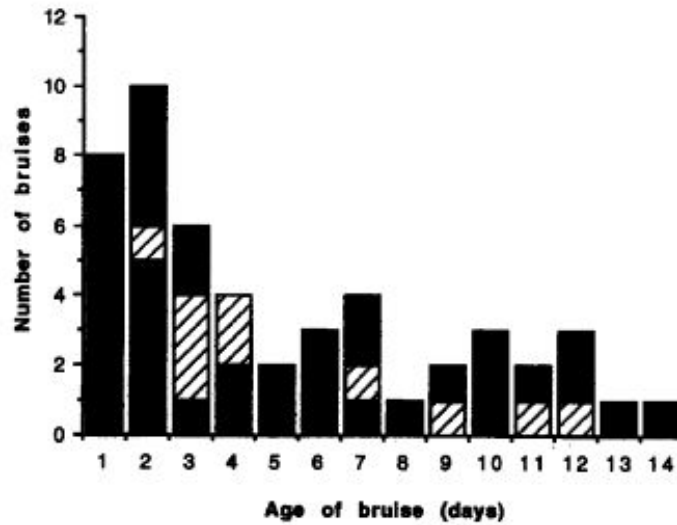


Figura 3.6. Colores de las fotografías de los hematomas de diferentes edades [Stepheson+ 1997].

La altura de las barras muestra el número total de golpes en cada edad. Bloques tramados representan el número de golpes que incluían el color amarillo, mientras que los bloques negros representan el número de golpes que incluían el color rojo.

3.3.3.3. Análisis de imágenes multiespectrales de edad hematoma

Stephen Sprigle y un grupo de amigos [Sprigle 2007] desarrollaron una técnica de golpes de espectro de edad con un sistema de imagen de reflexión multiespectral que minimiza los requisitos de filtrado y de hardware, mientras logra una precisión aceptable. La investigación se basó sólo en casos de contusiones en ancianos y se encontró que el diagnóstico de la edad del hematoma era sensible a la edad del individuo y requiere una mayor investigación. En general, el estudio identificó cuatro longitudes de onda clave que tiene la promesa de caracterizar la edad del moretón.

También señalaron que los sujetos de piel oscura no están bien representados. Ya que la mayor concentración de melanina complica las

imágenes del hematoma, disminuyendo el contraste entre la piel moreteada y la piel normal. La acción de evaluar los individuos de todos los tipos de piel ayuda a mejorar los medios para determinar la edad de un golpe, más allá de las capacidades de la simple vista.

Además la inspección visual en vivo y la fotografía de las contusiones son dos métodos convencionales en la práctica clínica. Estos métodos, sin embargo, son de orden cualitativo, subjetivo e impreciso. Las estadísticas indican que su mayor precisión es de sólo el 50%. Además, su tasa de fracaso es aún mucho mayor si las contusiones suceden en piel con pigmentación oscura. Este método permite inferir el contenido de fracciones de diferentes cromóforos, ya sea de oxihemoglobina (oxyHb), deoxi-hemoglobina (deoxyHb), bilirrubina, melanina, en otros, en la medición de la reflectividad óptica de un punto de muestreo en un momento en la región de molido por un continuo rango de longitud de onda en pasos finos.

3.3.4. Vascularidad de la piel

3.3.4.1. Un nuevo enfoque de la determinación de la edad de las lesiones traumáticas por espectroscopia de reflectancia

Lise Lyngsnes [Lyngsnes+ 2006] realizó estudios y observó que un trauma que causa daño a los vasos localizados rápidamente se traducirá en un charco de sangre en los tejidos subcutáneos. El color de la contusión es debido principalmente al transporte de la hemoglobina en la dermis y en segundo lugar a sus productos de degradación. Este transporte se analiza en términos de difusión de la hemoglobina seguido por el aclaramiento de actividad de los macrófagos, el flujo linfático, y la conversión a productos de degradación como la bilirrubina. El color de un moretón es causado por la hemoglobina y los productos de degradación de la hemoglobina. El color cambia con el tiempo y esos cambios de

color se pueden grabar utilizando la espectroscopia de reflectancia. El objetivo de este estudio fue desarrollar un modelo matemático para describir la difusión de la sangre dentro de la piel amoratada y utilizar este método para recuperar la edad de una contusión de la reflectancia de la medida de la piel.

La exactitud del método depende de la información precisa del grosor de la piel en el área lesionada. La calidad de las estimaciones del modelo se verá reforzada si una medida fiable del grosor de la piel se recoge al mismo tiempo que la medida de reflexión.

3.3.5. Tejido óseo subyacente

3.3.4.1. Evaluación espectrofotométrica del color de los hematomas y del tejido subcutáneo

M. Bohnert y sus compañeros [Bohnert+ 1999] realizaron medidas espectrofotométricas que se llevaron a cabo en el intra y/o subcutánea de los moretones que ocurren en conexión directa temporal con trauma fatal hiper aguda. El propósito de estas mediciones fue determinar si la impresión visual del color de una extravasación traumática fresca puede dar información sobre la localización de la hemorragia en una capa de tejido determinado. Después de la evaluación visual del color de los hematomas, las curvas de reflectancia espectral y los valores de color CIE-L * a * b * determinaron, con la ayuda de un espectrofotómetro de diodos, la localización y el tamaño de las hemorragias en el cutis y/o tejido celular subcutáneo que se evaluaron morfológicamente después de la incisión de la piel. Se confirmó que existe una relación entre la percepción del color y la localización de la contusión. Los hematomas localizados cerca de la superficie tienen una apariencia más rojiza, mientras que los moretones en las capas más

profundas dan una impresión de color más azulado. Una explicación puede encontrarse en las características ópticas de la piel. La sangre localizada en el tejido subcutáneo aparece en azul en la superficie debido a los procesos de dispersión en la dermis (la dispersión de Rayleigh), como las longitudes de onda de la luz azul se dispersa (y por lo tanto es reflejada) en mayor medida que las longitudes de onda de color rojo.

3.4. ESTUDIOS PARECIDOS

3.4.1. Estudios sobre la expresión del ARNm del activador plasminógeno de tipo tisular en moretones para la estimación de la edad de los moretones en ratas.

Masataka Takamiya y sus compañeros [Takamiya+ 2005] investigaron la expresión del ARNm del activador plasminógeno de tipo tisular (tPA) y la dinámica de células inflamatorias para la estimación de la edad de moretones en los ratones. Los neutrófilos se detectan a partir de 1 hora después de la lesión. Hasta 8 horas, estos se acumularon en el tejido subcutáneo y la parte inferior de la dermis, y posteriormente se extendieron a todas las capas. Los macrófagos se detectaron 3 horas después de la lesión, y la infiltración moderada de linfocitos se desprende después de 144 horas. Además, el engrosamiento de la epidermis también se observó a partir de 72 horas. La expresión de tPA ARNm alcanzó un máximo de 1 hora y se incrementó ligeramente a las 72 horas después de la lesión. ARNm tPA se detectó en las células epidérmicas, los fibroblastos y las células endoteliales, antes y después de una lesión, de 3 horas en los neutrófilos y de 72 horas en los macrófagos, respectivamente. Este estudio presenta la expresión en función del tiempo de ARNm de tPA en contusiones en relación con las características histológicas temporales durante la cicatrización de la herida, que se consideran útiles para la estimación de la edad de la herida. Además, se sugiere que el tPA juega un papel importante en la primera etapa de la remodelación del tejido.

3.4.2. Interpretación de contusiones en la necropsia

P. Vanezis [Vanezis 2000] concluyó que la interpretación correcta de la contusión en la autopsia es esencial para entender cómo la víctima se ha lesionado y ayuda al patólogo en una reconstrucción fiable de los acontecimientos que condujeron a la muerte. Es esencial no sólo para evaluar el mecanismo de producción de un hematoma, teniendo en cuenta el tipo de impacto en la superficie y la magnitud de la fuerza utilizada, sino también para estimar que el daño fue causado. Se da cuenta de los diversos métodos utilizados en el examen de las contusiones, especialmente en relación con el envejecimiento, así como los factores que pueden afectar su apariencia. La diferenciación de los objetos resultantes de los cambios post-mortem también se analiza con cierto detalle.

3.4.3. Parámetros histológicos e histoquímica enzimática para la estimación de la edad de las heridas de la piel humana

P. Betz [Betz 1994] determinó que las técnicas rutinarias de la histología forma la base de una estimación de la edad forense de las heridas de la piel humana y la determinación de la vitalidad con ayuda de la detección de los granulocitos neutrófilos que aparecen antes de unos 20-30 minutos después de la herida. Los métodos histoquímicos de enzimas permiten una diferenciación de las edades de las heridas, especialmente en el rango de algunas horas.

CAPITULO IV

DISEÑO DE LA RED NEURONAL ARTIFICIAL

En el presente capítulo desarrollaremos el proceso para obtener la arquitectura más adecuada de la red neuronal artificial, el cual se ha dividido en seis partes para un mejor entendimiento, primero empezaremos explicando el esquema general de esta investigación, seguidamente desarrollaremos los primeros pasos del esquema, los cuales parten desde la construcción del banco de casos de equimosis, el procesamiento de la imagen, la normalización de los datos y, finalmente, el diseño de la RNA.

4.1.ESQUEMA GENERAL DEL DESARROLLO DE LA PROPUESTA

En la Figura 4.1 se muestra el flujo de pasos seguidos para la elaboración del sistema propuesto en esta tesis. El cual inicia con la construcción del banco de casos de equimosis, luego se procesará las imágenes del banco de casos para obtener el pixel promedio de la zona indurada de las equimosis, seguidamente se normalizará las diez variables de entrada de la red neuronal en un rango de cero a uno. El diseño de la red neuronal consiste en modelar diferentes redes neuronales con diversas características para que seguidamente se entrenen y cuando el error cuadrático medio sea aceptable se prosiga con su respectiva validación, caso contrario se repetirá hasta encontrar las siete redes neuronales más adecuadas para la solución del problema. Finalmente se compararán las siete redes neuronales para elegir el modelo de red neuronal más eficiente para la datación de una equimosis.

Debido a la gran cantidad de información de este esquema, se ha decidido que en las siguientes secciones de este capítulo se desarrollará los cinco primeros pasos y los restantes en el siguiente capítulo.

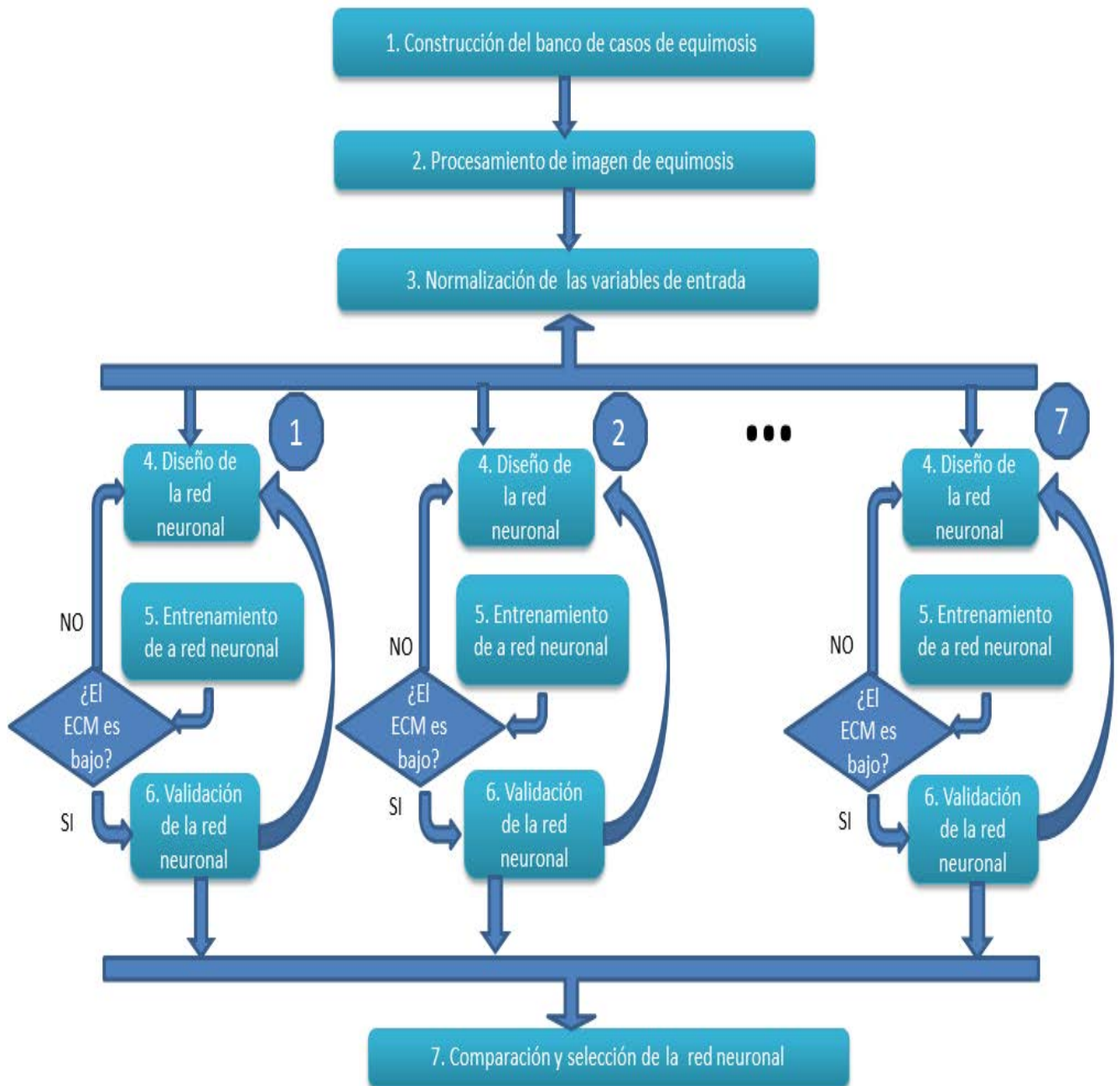


Figura 4.1 Flujo de procesos del desarrollo de la tesis

4.2.CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE CASOS DE EQUIMOSIS

Para la construcción del banco de casos de equimosis, fue necesario en primera instancia, analizar y seleccionar las características más adecuadas que deben tener cada uno de los casos clínicos. Este proceso se desarrolló en varias sesiones con el experto Dr. Lino Gutiérrez, cuyo detalle se encuentra en el Anexo G. Después de un cuidadoso análisis en base a los 15 años de experiencia del Dr. Lino Gutiérrez y a algunas investigaciones realizadas hasta el momento, se seleccionaron 10 variables, las cuales describiremos a continuación.

Codificación de las variables	Descripción
R	Red - Rojo
G	Green - Verde
B	Blue - Azul
C	Color de piel
E	Edad
S	Sexo
L	Tejido laxo
V	Vascularidad de la zona
O	Tejido óseo subyacente
T	Temperatura ambiental

Tabla 4.1. Codificación de las variables.

4.2.1. Características de las variables

A continuación presentaremos las características de cada variable, con el objetivo de entender la razón de ser de cada una de ellas, y por ende su aporte e importancia en el desarrollo de esta tesis.

Colores promedio (RGB). Según el estudio de Stephen Sprigle [Sprigle 2007] un hematoma reciente se caracteriza por el color rojizo ya que la sangre presente en el área de la equimosis contiene oxihemoglobina (OxyHb) y hemoglobina. Además el color verde se debe a la biliverdina y al color amarillo a la bilirrubina.

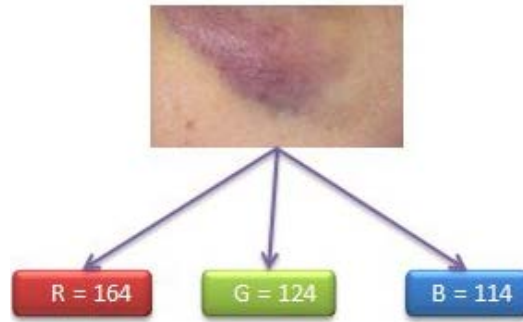


Figura 4.2. Componentes del píxel promedio de la zona indurada.

Color de la piel (C). Lyngsnes Randeberg [Lyngsnes+ 2005] concluye que el color de la equimosis variará dependiendo de la raza del individuo (negro, blanco, mestizo, mulato). Siendo los sujetos de piel oscura los que presentan mayor dificultad para el reconocimiento de la edad de la equimosis, ya que tienen una mayor concentración de melanina, lo cual complica el contraste entre la piel moreteada y la piel normal.

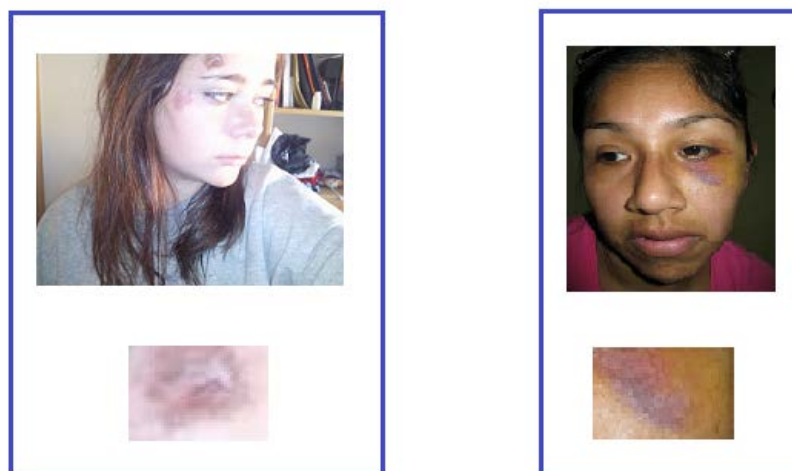


Figura 4.3. Diferencias de las características de las equimosis de una mujer blanca y una mujer trigueña oscura.

Edad del sujeto (E). Los estudiosos R. F. Carpenter [Carpenter 1998], Stepheson, Blalas [Stepheson+ 1997], Stephen Sprigle [Sprigle 2007] y Jesus Burgos [Burgos + 2009] concluyeron que la reabsorción de un golpe es más rápido en los niños y lenta en los viejos. Esto se debe a que las personas de edad avanzada muestran una amplia variación en el tiempo de la respuesta espectral.



Figura 4.4. Diferencias entre las equimosis de un niño y un anciano.

Sexo (S). Según los 15 años de experiencia del doctor Lino Gutiérrez, se concluye que la piel del hombre y la de la mujer son distintas, lo cual se debe principalmente a tres factores fisiológicos que las diferencian: el espesor, la firmeza y la secreción sebácea. La piel masculina es un 24% más espesa que la de la mujer, por lo que es más resistente. Asimismo, el hombre tiene una piel más firme y envejece más tarde pero, sin embargo, de manera más brusca. Además, la cantidad de grasa cutánea secretada por el hombre es mucho mayor por razones hormonales. Por lo tanto, los varones tienen mayor resistencia a los golpes que las mujeres porque su porcentaje de fibra es mayor.

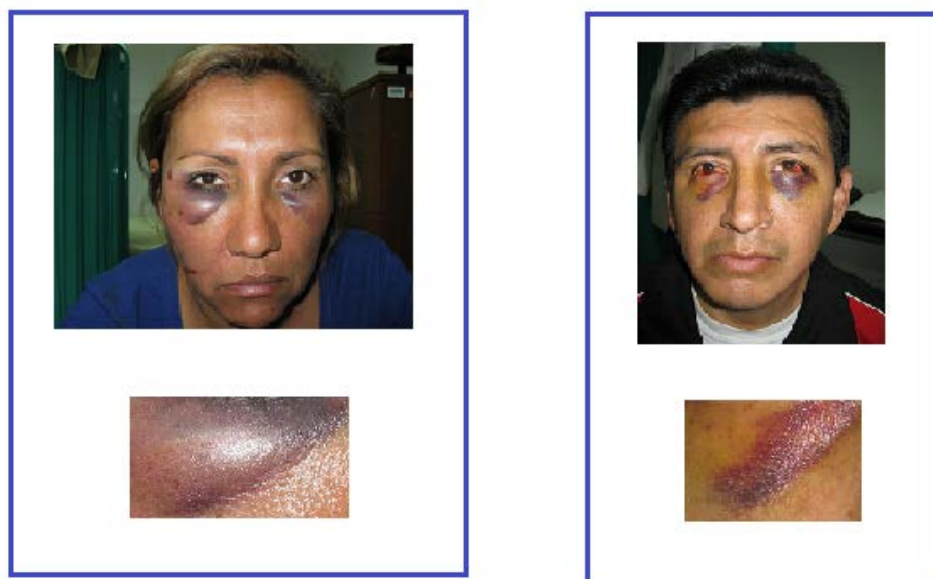


Figura 4.5. Diferencias de las características de las equimosis entre un varón y una mujer.

Laxitud del tejido (L). El tejido laxo sólo está presente en ciertas áreas del cuerpo, donde la piel presenta pliegues. En estas áreas del cuerpo humano, la reacción ante un golpe es diferente ante la reacción de la piel lisa al mismo golpe. Esto fue observado y experimentado por el Dr. Lino Gutiérrez.

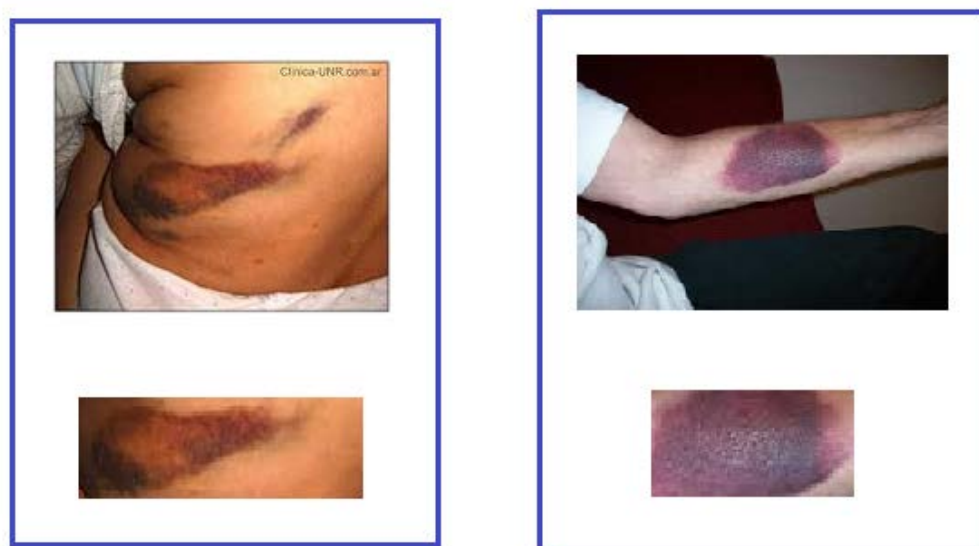


Figura 4.6. Diferencias de las características de las equimosis entre una zona corporal con pliegues y otra sin pliegues

Vascularidad (V). Según la experiencia del Dr. Lino Gutiérrez se conoce que el cuerpo humano presenta un diverso sistema circulatorio, el cual está conformado por arterias, venas y capilares. Además se sabe que al momento del impacto de un golpe fuerte se romperán muchos de éstos, esparciéndose la sangre dentro de los tejidos epiteliales, de ahí también la razón del color de la zona indurada.



Figura 4.7. Diferencias de las características de las equimosis entre una zona vascular con bastante irrigación sanguínea y otra de menor irrigación.

Tejido óseo subyacente (O). Según el Dr. Lino Gutiérrez es de importancia trabajar con esta variable ya que evalúa qué tan cerca se encuentra la piel del tejido óseo, lo cual implica a su vez la cantidad de grasa presente entre el tejido epitelial y el tejido óseo.



Figura 4.8. Diferencias de las características de las equimosis entre una zona cercana al tejido óseo, y otra con mayor distancia.

Temperatura ambiental (T). Varios casos clínicos del Dr. Lino Gutiérrez han comprobado que la temperatura ambiental influye en el comportamiento de las células del cuerpo humano y en la circulación de la sangre, por lo tanto también influye en la reacción del cuerpo humano a un golpe.



Figura 4.9. Diferencias de las características de las equimosis entre una persona que se encontraba en la selva y otra que se encontraba en la costa.

4.2.2. Estructura de los casos clínicos de equimosis

Para la construcción del banco de casos de la red neuronal artificial de esta tesis se han recopilado casos clínicos del historial de la División Médico Legal de Lima Central, por medio del experto Lino Gutiérrez, haciendo un total de 50 casos clínicos, los cuales cuentan con las características necesarias para el respectivo entrenamiento y validación de la red neuronal. Para un mayor entendimiento revisar el Anexo B.

Cada caso clínico está conformado por la fotografía del lesionado, una imagen que enmarca exclusivamente la zona impactada, los valores respectivos de las variables y su respectiva datación. Como se señala a continuación.



Color de piel	Trigueño Oscuro
Edad	18-29 años
Sexo	Femenino
Zona Laxa	No
Vascularidad	No
Tejido Óseo Subyacente	Si
Temperatura Ambiental	>15 grados
Edad Equimosis	3 a 6 días

Figura 4.10. Ejemplo de la estructura del Caso 5 del banco de casos de equimosis.

Variable	Valor	Descripción
R	160	Indica el valor del pixel promedio de la zona indurada pa color rojo.
G	144	Indica el valor del pixel promedio de la zona indurada para el color verde.
B	134	Indica el valor del pixel promedio de la zona indurada para el color azul.
C	2	Indica que le color de piel del lesionado es trigueño claro.
E	5	Indica que la edad del lesionado esta entre 18 – 29 años.
S	1	Indica que el sexo del lesionado es femenino.
L	2	Indica que la zona de equimosis no presenta laxitud.
V	2	Indica que la zona de la equimosis no presenta un tejido vascular altamente irrigado.
O	1	Indica que el tejido óseo subyacente está muy cerca del tejido epitelial.
T	2	Indica que la temperatura ambiental del lugar donde se ocasionó la equimosis fue de 8 – 15 grados centígrados.
Y	1	Indica que la edad de la equimosis es menos de 2 días.

Tabla 4.2. Otro esquema para representar la estructura del Caso 1 del banco de casos clínicos.

4.2.3. Banco de casos clínicos de equimosis

Del conjunto de casos clínicos recopilados, 35 se utilizarán para la fase de entrenamiento o aprendizaje y 15 para la fase de validación o prueba.

I	Ri	G i	B i	Ci	Ei	Si	Li	Vi	Oi	Ti	Yi
Caso 1	160	144	134	2	5	1	2	2	1	2	1
Caso 2	189	132	120	3	6	1	2	2	1	2	1
Caso 3	187	133	101	3	6	1	2	2	1	2	1
Caso 4	200	167	155	3	6	1	2	2	1	2	2
Caso 5	163	106	61	3	6	1	2	2	1	2	3
Caso 6	198	164	145	3	6	1	2	2	1	2	3
Caso 7	164	124	114	2	5	1	2	2	1	2	2
Caso 8	138	98	74	3	2	2	2	1	2	1	1
Caso 9	150	140	131	1	3	2	2	2	1	3	4
Caso 10	178	140	130	3	4	1	2	2	2	3	3

Datos para la fase de entrenamiento

Caso 11	152	109	117	2	4	2	2	2	1	3	3
Caso 12	136	95	77	1	5	1	2	2	1	2	1
Caso 13	202	174	185	1	4	1	2	2	1	3	4
Caso 14	175	122	99	3	7	1	2	2	1	3	3
Caso 15	157	106	79	3	6	1	2	1	2	3	5
Caso 16	134	83	57	2	5	2	2	2	1	2	5
Caso 17	197	139	109	2	5	2	2	2	1	3	5
Caso 18	158	106	58	3	6	2	2	2	1	2	2
Caso 19	165	106	60	3	5	1	2	2	1	3	5
Caso 20	147	122	112	3	7	1	1	2	1	2	4
Caso 21	149	126	134	1	5	1	2	1	2	3	4
Caso 22	196	139	109	3	4	2	2	2	2	1	6
Caso 23	132	76	59	2	6	2	2	1	1	2	2
Caso 24	153	86	77	2	6	2	2	1	2	1	1
Caso 25	129	78	52	2	6	2	2	1	2	1	5
Caso 26	116	71	58	3	6	2	2	1	1	2	4
Caso 27	122	85	65	2	4	1	2	2	1	2	3
Caso 28	111	81	91	3	2	2	2	2	2	2	5
Caso 29	164	88	51	3	7	2	1	2	2	1	3
Caso 30	149	123	124	2	5	1	2	1	1	2	4
Caso 31	99	47	23	3	6	1	1	2	1	2	5
Caso 32	131	93	77	3	5	1	2	2	2	2	5
Caso 33	148	137	138	1	3	2	2	1	2	2	4
Caso 34	193	140	106	3	5	2	2	2	1	2	3
Caso 35	136	94	75	1	2	2	1	2	2	1	2
Caso 36	207	186	168	3	4	1	2	2	1	1	2
Caso 37	114	96	92	2	5	1	2	1	2	1	1
Caso 38	39	26	9	3	5	2	2	1	2	2	5
Caso 39	92	76	51	3	5	1	2	1	2	2	2
Caso 40	175	105	93	2	6	1	2	2	2	1	2
Caso 41	117	89	67	1	3	1	2	2	1	2	2
Caso 42	111	61	34	2	6	1	1	1	1	2	2
Caso 43	166	123	133	1	4	2	2	1	2	2	2
Caso 44	121	64	44	3	6	2	2	2	1	1	2
Caso 45	192	153	163	1	2	2	2	2	2	2	3
Caso 46	219	114	122	3	6	2	2	2	2	1	3
Caso 47	184	115	102	3	5	2	2	1	1	2	2
Caso 48	183	133	142	2	4	1	2	2	1	2	2
Caso 49	191	135	108	2	5	1	2	2	1	3	4
Caso 50	105	75	51	3	3	1	2	2	1	2	3

Datos para la fase de entrenamiento

Datos para la fase de validación

Tabla 4.3. Recopilación de casos clínicos de equimosis.

Casos clínicos para el entrenamiento

Como se mencionó en la sección anterior la cantidad de datos para el entrenamiento de la red neuronal equivalen al 70% del total de datos obtenidos que comprenden los registros desde el Caso 1 al Caso 35 de la Tabla 4.3. Este número de casos clínicos (35) es prudente para la realización del entrenamiento de la red, puesto que muestra una gran variedad en los datos, lo cual será útil para evitar el sobre ajuste o memorización de los mismos.

Casos clínicos para la validación

Los datos para la fase de validación de la red neuronal equivalen al 30% del total de datos obtenidos que comprenden los patrones desde el Caso 36 al Caso 50 de la Tabla 4.3. Esta cantidad de datos con la que cuenta la muestra (15) es razonable para la validación de la red puesto que muestra variedad en los datos, los mismos que serán útiles para determinar si la red seleccionada generaliza adecuadamente.

4.3.PROCESAMIENTO DE LA IMAGEN DE EQUIMOSIS

La finalidad de esta sección es procesar la imagen para obtener el color promedio de la zona indurada de la equimosis, dejando de lado la información de la imagen que no es de importancia para del diagnóstico. Para llevar a cabo este proceso se ha creado una aplicación de reconocimiento de imágenes en Java a través de la plataforma Netbeans.

El primer paso es obtener una imagen exclusivamente del área de la equimosis, la cual puede ser de cualquier tamaño, como se muestra a continuación.



Figura 4.11. Fotografía del Caso 5 del banco de casos de equimosis [Gutiérrez 2011].



Figura 4.12. Recorte de la zona indurada de la equimosis de la Figura 4.3.

El segundo paso es obtener los píxeles significativos de la equimosis, lo que se conoce como zona indurada (área que recibió directamente el impacto). Para ello se utilizó varios intervalos de colores de equimosis, que se obtuvieron después de un arduo estudio de los píxeles de muchas imágenes de equimosis por medio del software Helicom Filter. Para un mejor entendimiento ir al Anexo C.

En el tercer y último paso se utilizó las clases `ImagenIO`, `BufferedImage` e `ImageIcon` del lenguaje de programación Java, las cuales contienen métodos estáticos de conveniencia para la realización de la codificación y decodificación de las imágenes, con el fin de obtener el píxel promedio de la zona indurada de la equimosis.

El píxel promedio tiene como finalidad obtener la información más importante de una equimosis, la cual viene representada por la zona indurada (Figura 4.13), debido a que es el área donde se recibió directamente el impacto. Por lo tanto se busca encontrar los píxeles más resaltantes de esta zona para así poder trabajar con esta información y unificarla en un solo píxel promedio. Como se señala en la Figura 4.14. Para mayor detalle revisar el Anexo D.

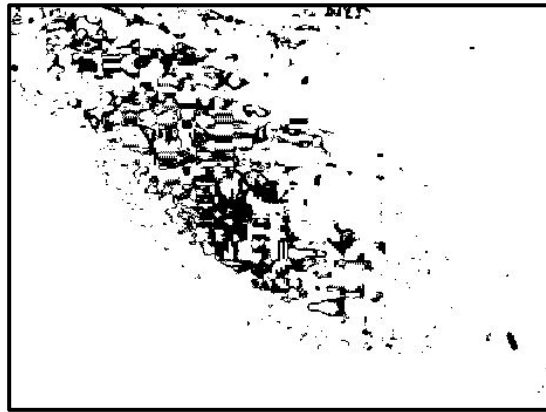


Figura 4.13. Zona indurada de una equimosis (Caso 5).

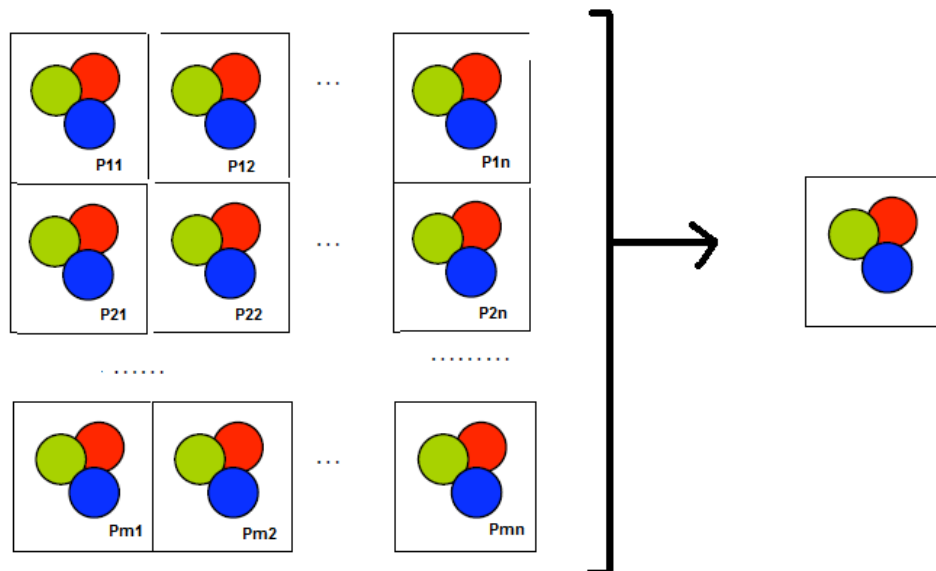


Figura 4.14. Los colores de los píxeles de la zona indurada generan un píxel promedio.

4.4. NORMALIZACIÓN DE DATOS

El proceso de normalización es necesario para este trabajo puesto que se desea uniformizar los datos ya que las unidades de cada variable son disímiles (por ejemplo los valores de los colores del píxel promedio de la zona indurada son demasiados altos a comparación de los valores del resto de variables) y se diferencian de manera notable.

Con este proceso de normalización se pretende obtener valores uniformes de entrada en un rango de 0 – 1 para que no existan dependencias de ninguna variable para la obtención del resultado, ya que cada una de ellas influye en el pronóstico de manera análoga.

Este proceso se ha llevado a cabo a partir de la división de la diferencia del valor de la variable menos el valor mínimo de los datos del banco de casos de equimosis entre la diferencia del valor máximo menos el valor mínimo de los datos del banco de casos de equimosis, tal y como se muestra en la siguiente ecuación:

$$Dn = (Di - Dmin) / (Dmax - Dmin)$$

Donde:

- Dn = Dato Normalizado.
- $Dmin$ = Valor mínimo de los datos del banco de casos de equimosis.
- $Dmax$ = Valor máximo de los datos del banco de casos de equimosis.
- Di = Dato del Caso i .

A continuación se muestran dos ejemplos de normalización para explicar de manera clara este proceso.

Normalizando la variable R (Color del Rojo de la zona indurada)

$D_{min} = 99$, representa el menor valor de la variable R de los datos del banco de casos de equimosis de entrenamiento de la Tabla 4.3.

$D_{max} = 202$, representa el mayor valor de la variable R de los datos del banco de casos de equimosis de entrenamiento de la Tabla 4.3.

$D_I = 160$, representa el valor a normalizar, que corresponde al Caso 1.

$D_n = (160-99)/(202-99) = 0.59$, resultado de la normalización.

El valor normalizado para la variable R del Caso 1 es 0.59

Normalizando la variable C (Color de piel)

$D_{min} = 1$, representa el menor valor de la variable C de los datos del banco de casos de equimosis de entrenamiento de la Tabla 4.3.

$D_{max} = 3$, representa el mayor valor de la variable C de los datos del banco de casos de equimosis de entrenamiento de la Tabla 4.3.

$D_I = 2$, representa el valor a normalizar, que corresponde al Caso 1.

$D_n = (2-1)/(3-1) = 0.5$, resultado de la normalización.

El valor normalizado para la variable C del Caso 1 es 0.5

La normalización de los datos de entrada se lleva a cabo de forma similar para el resto de variables de los datos del grupo de entrenamiento y grupo de validación por separado. En la Tabla 4.4 se muestran los resultados del proceso de normalización.

	Ri	Gi	Bi	Ci	Ei	Si	Li	Vi	Oi	Ti	Yi
Caso 1	0.59	0.76	0.69	0.5	0.6	0	1	1	0	0.5	0
Caso 2	0.87	0.67	0.6	1	0.8	0	1	1	0	0.5	0
Caso 3	0.85	0.68	0.48	1	0.8	0	1	1	0	0.5	0
Caso 4	0.98	0.94	0.81	1	0.8	0	1	1	0	0.5	0.2
Caso 5	0.62	0.46	0.23	1	0.8	0	1	1	0	0.5	0.4
Caso 6	0.96	0.92	0.75	1	0.8	0	1	1	0	0.5	0.4
Caso 7	0.63	0.61	0.56	0.5	0.6	0	1	1	0	0.5	0.2
Caso 8	0.38	0.4	0.31	1	0	1	1	0	1	0	0
Caso 9	0.5	0.73	0.67	0	0.2	1	1	1	0	1	0.6
Caso 10	0.77	0.73	0.66	1	0.4	0	1	1	1	1	0.4
Caso 11	0.51	0.49	0.58	0.5	0.4	1	1	1	0	1	0.4

Datos para la
fase de
entrenamiento

Caso 12	0.36	0.38	0.33	0	0.6	0	1	1	0	0.5	0
Caso 13	1	1	1	0	0.4	0	1	1	0	1	0.6
Caso 14	0.74	0.59	0.47	1	1	0	1	1	0	1	0.4
Caso 15	0.56	0.46	0.35	1	0.8	0	1	0	1	1	0.8
Caso 16	0.34	0.28	0.21	0.5	0.6	1	1	1	0	0.5	0.8
Caso 17	0.95	0.72	0.53	0.5	0.6	1	1	1	0	1	0.8
Caso 18	0.57	0.46	0.22	1	0.8	1	1	1	0	0.5	0.2
Caso 19	0.64	0.46	0.23	1	0.6	0	1	1	0	1	0.8
Caso 20	0.47	0.59	0.55	1	1	0	0	1	0	0.5	0.6
Caso 21	0.49	0.62	0.69	0	0.6	0	1	0	1	1	0.6
Caso 22	0.94	0.72	0.53	1	0.4	1	1	1	1	0	1
Caso 23	0.32	0.23	0.22	0.5	0.8	1	1	0	0	0.5	0.2
Caso 24	0.52	0.31	0.33	0.5	0.8	1	1	0	1	0	0
Caso 25	0.29	0.24	0.18	0.5	0.8	1	1	0	1	0	0.8
Caso 26	0.17	0.19	0.22	1	0.8	1	1	0	0	0.5	0.6
Caso 27	0.22	0.3	0.26	0.5	0.4	0	1	1	0	0.5	0.4
Caso 28	0.12	0.27	0.42	1	0	1	1	1	1	0.5	0.8
Caso 29	0.63	0.32	0.17	1	1	1	0	1	1	0	0.4
Caso 30	0.49	0.6	0.62	0.5	0.6	0	1	0	0	0.5	0.6
Caso 31	0	0	0	1	0.8	0	0	1	0	0.5	0.8
Caso 32	0.31	0.36	0.33	1	0.6	0	1	1	1	0.5	0.8
Caso 33	0.48	0.71	0.71	0	0.2	1	1	0	1	0.5	0.6
Caso 34	0.91	0.73	0.51	1	0.6	1	1	1	0	0.5	0.4
Caso 35	0.36	0.37	0.32	0	0	1	0	1	1	0	0.2
Caso 36	0.93	0.86	0.95	1	0.5	0	1	1	0	0	0.25
Caso 37	0.42	0.38	0.49	0.67	0.75	0	1	0	1	0	0
Caso 38	0	0	0	1	0.75	1	1	0	1	0.5	1
Caso 39	0.29	0.27	0.25	1	0.75	0.5	1	0	1	0.5	0.25
Caso 40	0.76	0.42	0.5	0.67	1	0.5	1	1	1	0	0.25
Caso 41	0.43	0.34	0.35	0.33	0.25	0.5	1	1	0	0.5	0.25
Caso 42	0.4	0.19	0.15	0.67	1	0.5	0	0	0	0.5	0.25
Caso 43	0.71	0.52	0.74	0.33	0.5	1	1	0	1	0.5	0.25
Caso 44	0.46	0.2	0.21	1	1	1	1	1	0	0	0.25
Caso 45	0.85	0.68	0.92	0.33	0	1	1	1	1	0.5	0.5
Caso 46	1	0.47	0.67	1	1	1	1	1	1	0	0.5
Caso 47	0.81	0.48	0.55	1	0.75	1	1	0.5	0.5	0.5	0.25
Caso 48	0.8	0.58	0.79	0.67	0.5	0.5	1	1	0.5	0.5	0.25
Caso 49	0.84	0.59	0.59	0.67	0.75	0.5	1	1	0.5	1	0.75
Caso 50	0.37	0.26	0.25	1	0.25	0.5	1	1	0.5	0.67	0.5

Datos para la
fase de
entrenamiento

Datos para la
fase de
validación

Tabla 4.4. Normalización de los valores del banco de casos de equimosis.

4.5.DISEÑO DE LA RED NEURONAL ARTIFICIAL

4.5.1. Selección del tipo de red neuronal artificial.

Para la selección de la topología de la red neuronal se realizaron procesos de prueba y error, para de esta forma hallar los valores más adecuados del tipo de red neuronal para el diagnóstico, como el número de capas ocultas y número de neuronas por capa oculta.

El mecanismo de aprendizaje de la red neuronal será aprendizaje supervisado, ya que se cuenta con los datos históricos de la División Médico Legal de Lima Central de diversos casos clínicos con sus entradas y salidas respectivas.

Según el libro de Raquel Flórez [Flórez+ 2008] en este tipo de aprendizaje se suelen distinguir a su vez tres formas de llevarlo a cabo:

Aprendizaje por refuerzo. El cual no se utilizará ya que el tipo de aprendizaje es muy lento y se basa en la idea de no disponer de un ejemplo completo del comportamiento deseado.

Aprendizaje estocástico. Tampoco se utilizará ya que consiste básicamente en realizar cambios aleatorios en los valores de los pesos y evaluar su efecto a partir del objetivo deseado y de distribuciones de probabilidad, lo cual sería muy complicado y tedioso.

Aprendizaje por corrección de error. Este método será utilizado ya que consiste en ajustar los pesos de las conexiones de la red en función de la diferencia entre los valores deseados y los obtenidos en la salida, y justamente esta investigación cuenta con dichos valores. Las redes neuronales que utilizan este tipo de aprendizaje son la red perceptron, adaline, madaline y multicapa.

Debido a que la red Perceptrón utiliza solo valores binarios, y tanto la red adaline y madaline no manejan problemas de esta magnitud, finalmente, se concluye que la red neuronal a utilizar será la red Perceptrón Multicapa, la cual es usualmente utilizada para procesamiento de imágenes.

4.5.2. Modelamiento de la red neuronal artificial.

El software matemático que se utilizará es el MATLAB, ya que no sólo nos posibilitará la creación de las redes neuronales, sino también el entrenamiento y validación de cada una de ellas de forma rápida y sencilla, reduciendo considerablemente la posibilidad de errores de programación.

Considerando que los componentes principales de una red Perceptrón multicapa son la capa de entrada, la capa oculta y la capa de salida, como se muestra en la Figura 4.15.

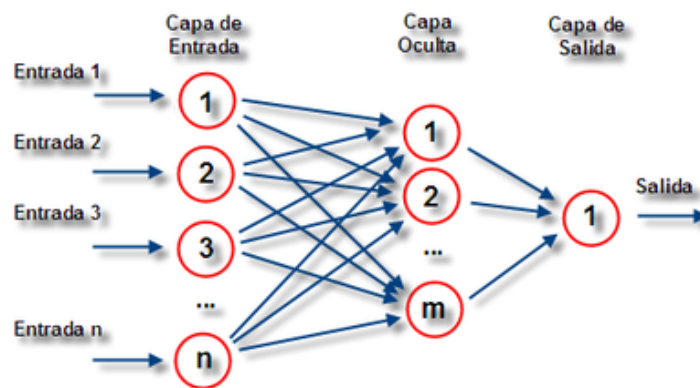


Figura 4.15. Componentes principales de una red Perceptrón Multicapa

Capa de entrada

Para obtener una red que pronostique con más eficiencia la datación de una equimosis se ha evaluado y seleccionado cuidadosamente las variables influyentes presentes en una equimosis, evitando de esta forma el sobreajuste o pobreza de datos en el modelo.

Estas unidades de entrada reciben señales desde el entorno, como el píxel promedio, que es un objeto formado por tres valores, el cual indica los valores RGB que varían de 0 – 255. Además, el usuario seleccionará la edad, sexo y color de piel del lesionado, así como la presencia o no de tejido laxo, tejido óseo subyacente, vascularidad y, finalmente, la temperatura ambiental.

Variables de Entrada	Descripción
X1	Rojo
X2	Verde
X3	Azul
X4	Edad
X5	Sexo
X6	Color de piel
X7	Laxitud del tejido
X8	Vascularidad
X9	Tejido óseo subyacente
X10	Temperatura Ambiental

Tabla 4.5. Variables de entrada de la red Perceptrón Multicapa.

Capa oculta

Galindo [Galindo 1996] ha probado que un número excesivo de capas ocultas es improductivo. Puede ocurrir que el tiempo de convergencia en el entrenamiento de retropropagación sea mayor, sin mejorarse las prestaciones de la red. Esto puede ocurrir por dos razones, que el error se degrade a medida que se propaga por la red y que las capas extra modifiquen la superficie de error, tendiendo a crear mínimos locales. En la siguiente imagen se señala claramente que un buen funcionamiento en el entrenamiento puede ser realmente no muy bueno, ya que como se observa, existe un aumento de la tasa de error.

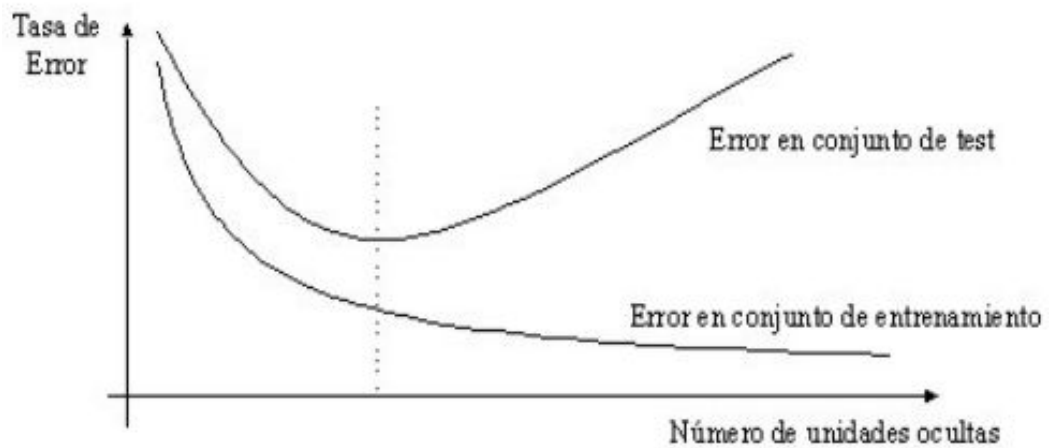


Figura 4.16. Efecto del número de unidades ocultas [Galindo 1996].

El número de capas ocultas y el número de neuronas por capa oculta se evaluará en el siguiente capítulo de acuerdo a la naturaleza del problema, al tamaño y a la calidad de los datos.

Capa de salida

El propósito de la tesis es pronosticar la cantidad de días de la edad de una equimosis, por lo que nuestro problema consta de una variable de salida equivalente a los siguientes intervalos de tiempo:

Codificación	Intervalos de la Variable de Salida
1	Pocas horas a 2 días
2	de 2 a 3 días
3	de 3 a 6 días
4	de 6 a 12 días
5	de 12 a 17 días
6	más de 17 días

Tabla 4.6. Intervalos de la variable de salida de la red Perceptrón Multicapa.

CAPÍTULO V

IMPLEMENTACIÓN DE LA RED NEURONAL

En este capítulo se escogerá la red neuronal artificial final para la datación de equimosis. Este capítulo se divide en tres partes, en la primera se describirá el proceso de entrenamiento de 7 tipos de redes Perceptrón Multicapa, en otra sección se validarán las 7 redes neuronales entrenadas y, finalmente, se hará un análisis y comparación de resultados para seleccionar la red neuronal artificial más adecuada.

5.1.PROCESO DE ENTRENAMIENTO DE LA RNA

La fase de entrenamiento consiste en asociar el patrón de entradas de un caso clínico de equimosis con su respectivo patrón de salidas, de tal manera que la red neuronal pueda diagnosticar con más precisión el número de días de una equimosis de acuerdo al correcto mapeo y conocimiento almacenado.

El proceso de entrenamiento de las redes neuronales se realizó usando los 35 patrones del banco de casos clínicos señalados en la sección 4.2 del Capítulo IV, mediante el comando *nntool* del software matemático Matlab, cuyo manejo se encuentra detallado en el Anexo E.

En la siguiente Tabla 5.1 se muestra el compendio de los resultados obtenidos del entrenamiento de las 7 configuraciones de redes neuronales, para mayor detalle revisar el Anexo F. En este resumen se muestran los datos más importantes empleados en el entrenamiento de cada red neuronal que referencian al nombre de la

red, al número de neuronas por capa oculta y el rendimiento equivalente a la función de error cuadrático medio (ECM).

Resultados obtenidos				
Red Neuronal	Capas ocultas			ECM
	Capa 1	Capa 2	Capa 3	
Diagnosticador 1	6	6	0	0.0126
Diagnosticador 2	5	5	0	0.00946
Diagnosticador 3	7	7	0	0.0145
Diagnosticador 4	6	0	0	0.0192
Diagnosticador 5	7	0	0	0.0189
Diagnosticador 6	5	5	5	0.014
Diagnosticador 7	6	6	6	0.018

Tabla 5.1. Resultados del ECM del entrenamiento de las 7 RNAs.

Como observamos en la Tabla 5.1 en la fase de entrenamiento el primer lugar lo ocupa el Diagnosticador 2 con un error de 0.946% y el segundo lugar el Diagnosticador 1 con 1.26%.

5.2.PROCESO DE VALIDACIÓN DE LA RNA

Esta sección representa el grado de generalización de la red neuronal, en otras palabras, es la capacidad de la red de dar una respuesta ante patrones que no han sido usadas en su entrenamiento.

El proceso consistió en presentar a las redes neuronales los datos correspondientes a las instancias de validación que se habían reservado del banco de casos clínicos de equimosis. Cada red procesó esta información teniendo en cuenta las relaciones aprendidas en el entrenamiento que guarda en forma de una matriz de pesos sinápticos. La salida de la red será el número de días diagnosticados, los cuales serán comparados con el valor real de la edad de la equimosis, con la finalidad de contrastar la capacidad predictiva del modelo, para lo cual se utilizó la tasa de error cuadrática media.

El valor del error cuadrático medio para cada red neuronal se presenta en la siguiente tabla, vale resaltar que en esta fase fue un punto importante trabajar con los intervalos de los tipos de salida de la red neuronal, para mayor detalle revisar el Anexo F.

Resultados Obtenidos				
Red Neuronal	Capas Ocultas			
	Capa 1	Capa 2	Capa 3	ECM
Diagnosticador 1	6	6	0	0.01368
Diagnosticador 2	5	5	0	0.27624
Diagnosticador 3	7	7	0	0.14293
Diagnosticador 4	6	0	0	0.20617
Diagnosticador 5	7	0	0	0.15010
Diagnosticador 6	5	5	5	0.05198
Diagnosticador 7	6	6	6	0.15239

Tabla 5.2. Resultados del ECM de la validación de las 7 RNAs.

Como observamos en la Tabla 5.2 en la fase de validación el primer lugar lo ocupa el Diagnosticador 1 con un error de 1.37% y en segundo lugar el Diagnosticador 6 con 5.2%. Además es importante observar que el Diagnosticador 2 que ocupó el primer puesto en la fase de entrenamiento obtuvo un error de 27.62% en su fase de validación.

5.3. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Como se observa, todas las configuraciones de redes neuronales presentan 6 iteraciones, a excepción del Diagnosticador 7 que presenta 10 iteraciones. Debido a que el número de iteraciones no es suficiente para determinar la red neuronal más adecuada, se procederá a evaluar el valor del desempeño de la red neuronal en la fase de entrenamiento y en la fase de validación.

En cuanto al valor del ECM, se tiene que a pesar que el Diagnosticador 2 tiene la menor tasa de error (9.46%) en la fase de entrenamiento, en la fase de validación obtuvo una tasa de error muy alta de 27.62%. Por consiguiente lo más eficiente sería

seleccionar el Diagnosticador 1 que obtuvo un 1.26% de error en la fase de entrenamiento y 1.37% en la época de validación.

Por lo tanto la mejor red neuronal para esta tesis es el Diagnosticador 1, el cual presenta la siguiente arquitectura:

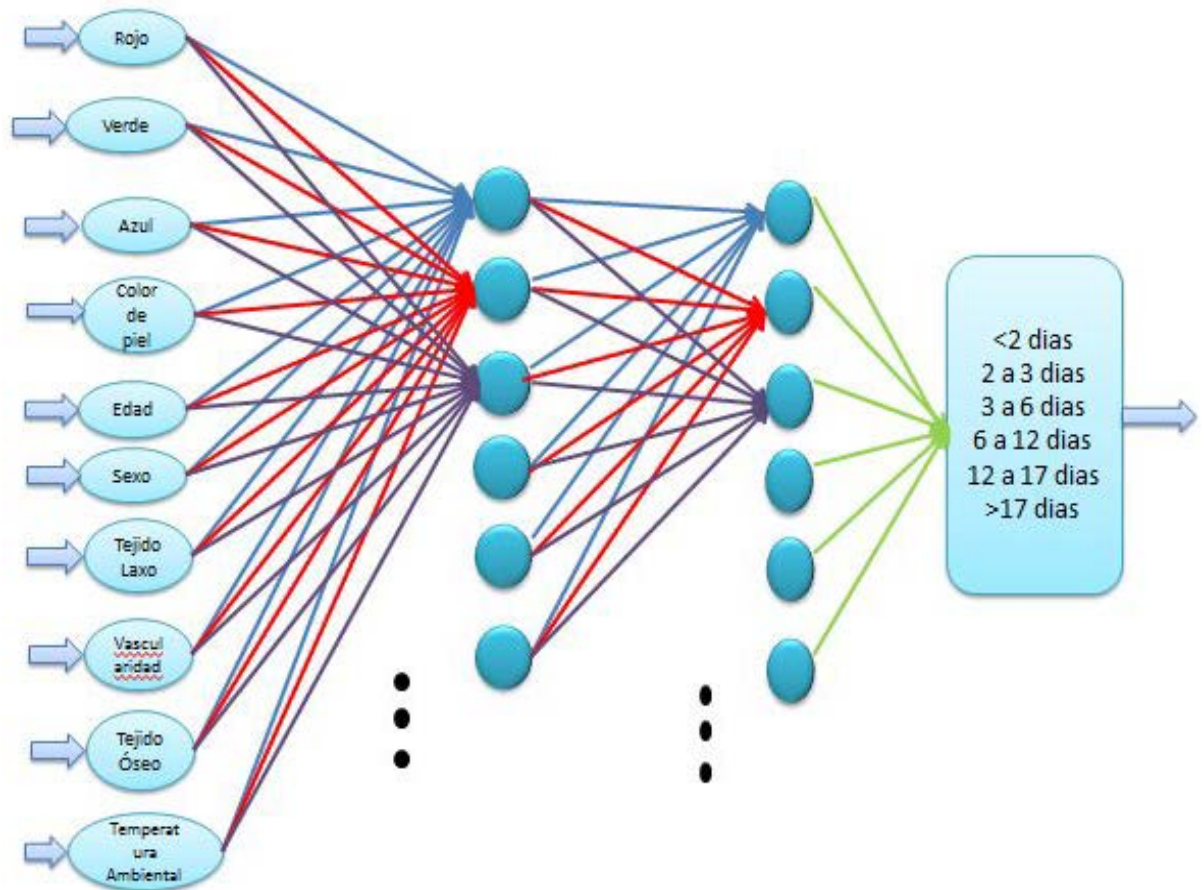


Figura 5.1. Red neuronal final.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

6.1. CONCLUSIONES

- Con el presente trabajo de investigación concluyo que el hecho de implementar un sistema inteligente dentro del campo legal peruano es un primer paso para poder automatizar procesos mecánicos o repetitivos de este sistema complejo, el cual actualmente presenta muchos problemas en cuanto a la lentitud de las diligencias y dictámenes, corrupción, falta de experiencia y profesionalismo, cuellos de botella, pérdida de información, entre otros.
- Al no existir sistemas inteligentes precisos para el diagnóstico de la datación de equimosis, actualmente se usan diagnósticos visuales que dependen de la experiencia de los médicos legales, los cuales son subjetivos y, por lo tanto, imprecisos, pudiendo traer como consecuencia una injusticia al cerrar un caso penal. De ahí la importancia de automatizar este proceso.
- Se analizaron las variables más importantes para esta investigación seleccionándose las más adecuadas que influyen en la datación de la equimosis, de acuerdo a estudios ya realizados con anterioridad, a la experiencia del Dr. Lino Gutiérrez y a la información presente en el historial de la División Médico Legal de Lima Centro.
- Se obtuvo un banco de casos de equimosis para el desarrollo de esta investigación, los cuales fueron brindados por el Dr. Lino Gutiérrez que labora en la División Médico Legal de Lima Centro.
- Se implementó una aplicación para el procesamiento de imágenes que nos sirvió para obtener el píxel promedio de la zona indurada. Este proceso utilizó la técnica RGB de la metodología de colorimetría, obteniendo de esta forma los valores de tres variables de entrada para la red neuronal (valores del color rojo, verde y azul).

- Resultó complicado seleccionar la topología de red (número de capas y unidades por capa) óptima para un problema, ya que para ello fueron necesarias numerosas pruebas, así como la elección de los diferentes parámetros de entrenamiento (momentos, incrementos de variables, error aceptable, mínimo valor de gradiente, etc.), que fue bastante complejo. Finalmente, se optó por una red Perceptrón Multicapa con Feed – forward backpropagation conformada por 10 nodos en la capa de entrada, dos capas oculta de 6 nodos y un nodo en la capa de salida; además tiene como función de entrenamiento el TRAINLM , como función de aprendizaje el LEARNNGDM y como función de rendimiento el MSE.
- Los resultados obtenidos son buenos ya que a pesar de la poca cantidad de casos de equimosis, el sistema propuesto llegó a un margen de error del 1,26 % que comparado con el error del 80% de los médicos legales (obtenido mediante estadísticas de otros estudios) es bastante menor.

7.2. TRABAJOS FUTUROS

- Se desearía seleccionar un universo con mayor número de casos clínicos. El universo actual nos ha sido bastante útil para comprobar el buen funcionamiento de los diferentes tipos de redes neuronales; pero sería mucho mejor aumentar este número para mejorar su rendimiento.
- La elección de un universo de entrada más complejo tal vez mejoraría la exactitud de la datación de una equimosis, por lo que sería necesario la inclusión de nuevas variables como: el grado de trauma, el tamaño del hematoma, la estructura corporal, la profundidad de la herida, el área corporal de la aplicación, la dirección y duración de la fuerza, la cantidad de sangre extravasada, las características biológicas y anatómicas del paciente, la amplitud, la enfermedad, la presión sanguínea, la temperatura del cuerpo, entre otras variables.
- Analizar nuevos modelos de red, ya que a pesar de que las redes Backpropagation han dado buenos resultados, otras redes neuronales podrían dar mejor resultados.
- De la población de este estudio, muchos de los pacientes se encontraban en mal estado de salud, algunos se encontraban tomando drogas, lo cual altera la sangre. En consecuencia podemos decir que debido a que la salud es un factor

que afecta a la cicatrización y es una variable que conduce a la dispersión en la evolución del hematoma, sería importante construir un sistema que incluya esta opción.

- Se desearía construir un sistema de procesamiento de imágenes que pueda tomar en cuenta que la piel humana no tiene un color homogéneo, ya que la superficie no es uniforme, además que también pueda manejar los problemas usuales de las imágenes como las sombras y el brillo.
- Se desearía que el sistema inteligente también pueda detectar los medicamentos que pueden alterar la tasa de dispersión del moretón (por ejemplo, esteroides).
- Se desearía incluir los estudios de Langlois y Gresham [Langlois+ 2007], quienes señalaron que los colores presentes en una equimosis en un día puede desaparecer al siguiente, sólo para reaparecer más tarde. Incluso señalaron que en un mismo individuo, cuando se produjeron dos golpes en la misma parte de la anatomía en el mismo momento, puede que los cambios de color no se desarrollen en la misma proporción. Además, concluyeron que no todos los moretones pasan por una fase amarilla antes de desaparecer.
- Se desearía considerar un tercer subconjunto de datos de test, destinado a contrastar el poder de generalización de la red asociada a las ponderaciones finales.
- Mejorar el algoritmo de procesamiento de imágenes de equimosis, para de esta forma encontrar más rangos de intervalos de colores de equimosis, y así alcanzar mayor precisión en la selección de los píxeles de la zona indurada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [Bariciak+ 2003], Erika D. Bariciak, Amy C. Plint, Isabelle Gaboury, Sue Bennett, Dating of Bruises in Children: An Assessment of Physician Accuracy, PEDIATRICS Vol. 112 No. 4 October 1, 2003 Ontario, Canada, pp. 804 -807, (doi: 10.1542/peds.112.4.804.
- [Betz 1994] P. Betz, Histological and enzyme histochemical parameters for the age estimation of human skin wounds, INTERNATIONAL JOURNAL OF LEGAL MEDICINE, Volume 107, Number 2, 60-68, DOI: 10.1007/BF01225491.
- [Bohnert+ 1999] M. Bohnert, R. Baumgartner and S. Pollak, Spectrophotometric evaluation of the colour of intra- and subcutaneous bruises, INTERNATIONAL JOURNAL OF LEGAL MEDICINE, Volume 113, Number 6, 343-348, DOI: 10.1007/s004149900107.
- [Burgos + 2009] Jesús Burgos,Pedro González Herranz,Santiago Amaya Alarcón. Lesiones traumáticas del niño. Ed. Médica Panamericana, 1995 - 1045 páginas
- [Calabuig+ 2004] Juan Antonio Gisbert Calabuig, Enrique Villanueva Cañadas, Medicina legal y toxicología, Elsevier España, 2004 - 1394 páginas.
- [Carpenter 1998] R F Carpenter, The prevalence and distribution of bruising in babies, Arch Dis Child 1999;80:363-366 doi:10.1136/ad.80.4.363.
- [Dimitrova + 2008], Dimitrova, T., Georgieva, L., Pattichis, C., Neofytou, M. Qualitative Visual Image Analysis of Bruise Age Determination: A Survey, IEEE Xplore, Aug. 30 2006-Sept. 3 2006, 4840 - 4843 pages, New York, NY.
- [Duckworth + 2006] Duckworth, Mark G. ; Caspall, Jayme J. ; Mappus IV, Rudolph L. ; Kong, Linghua ; Yi, Dingrong ; Sprigle, Stephen H.. Bruise Bruise chromophore concentrations over time, Georgia Tech, IEEE - SPIE Medical Imaging. 2008. San Diego, California USA.
- [Flórez+ 2008] Raquel Flórez López,José M. Fernández Fernández,José Miguel Fernández Fernández, Las Redes Neuronales Artificiales, Netbiblo 2008-Canadá, - 152 p
- [Freeman+ 1992] Freeman, J. A. y Skapura, D. M. Neural Networks, Algorithms, Applications, and Programming Techniques, New York: Addison- Wesley 401 p.
- [Galindo 1996],P. L. Galindo, “Curso de Redes Neuronales”, Grupo de Sistemas Inteligentes de Computación, Universidad de Cádiz

- [Georgieva+ 2005], Lidiya Georgieva, Tatyana Dimitrova, Ivan Stoyano, Computer-aided System for the Bruise Color's Recognition, CompSysTech 2005.
- [Gutiérrez 2011], Dr. Lino Gutiérrez, Comunicación Experto en Medicina Forense
- [Hughes+ 2010], Vanessa K. Hughes y Neil E. I. Langlois. Use of reflectance spectrophotometry and colorimetry in a general linear model for the determination of the age of bruises, FORENSIC SCIENCE, MEDICINE, AND PATHOLOGY, Volume 6, Number 4, 275-281, DOI: 10.1007/s12024-010-9171-z.
- [Hughes+ 2011], V. K. Hughes, P. S. Ellis, y N. E. I. Langlois, La percepción de color amarillo de moretones, The perception of yellow in bruises, Journal of Clinical Forensic Medicine, Volume 11, Issue 5, October 2004, Mortuary, Australia, Pages 257-259.
- [Langlois+ 2007], N. E. I. Langlois, The science behind the quest to determine the age of bruises—a review of the English language literature, FORENSIC SCIENCE, MEDICINE, AND PATHOLOGY, Volume 3, Number 4, 241-251, DOI: 10.1007/s12024-007-9019-3.
- [Linghua+ 2008], Linghua Kong, Stephen Sprigle, Mark G. Duckworth, Dingrong Yi, Jayme J. Caspall, Jiwu Wang*, Futing Zhao. Handheld Erythema and Bruise Detector. *Beijing Bodian Optical Technology Co. Ltd, 100026, 2008 - China, Proc. of SPIE Vol. 6915, 69153K.
- [Lyngsnes+ 2005] Lise Lyngsnes Randeberg, Diagnostic applications of diffuse reflectance spectroscopy, DOCTORAL THESIS, the Norwegian University of Science and Technology in the period October 1999 – March 2005.
- [Lyngsnes+ 2006] Lise Lyngsnes Randeberg PhD1,*, Olav A. Haugen MD, PhD2,3, Rune Haaverstad MD, PhD4, Lars O. Svaasand PhD1, A novel approach to age determination of traumatic injuries by reflectance spectroscopy, Lasers in Surgery and Medicine, Volume 38, Issue 4, pages 277–289, April 2006.
- [Mata 1857] Pedro Mata, Tratado de medicina y cirugía legal teórica y práctica, Mahon, Carlos Bailly - Bailliere, 1857, Londres y Nueva York Tercera Edición. 151-213 pag.
- [McMurdy+ 2006], John W. McMurdy y Gregory P. Crawford, Susan Duffy, Diffuse reflectance spectra of the palpebral conjunctiva and its utility as a noninvasive indicator of total hemoglobin, Journal of Biomedical Optics, Volumen 11, 014019 (Jan 31, 2006); doi:10.1117/1.2167967.

- [MPFN 2011] Pagina web official del Ministerio Publico – Fiscalía de la Nación
<http://www.mpfm.gov.pe>
- [OCP 2009], Anuario Estadístico 2009, Oficina Central de Planificación y Presupuesto - Ministerio Público – Perú – Lima
- [Pilling+ 2010], M.L. Pilling , Medical Student, P. Vanezis, Profesores D. Perrett y A. Johnston, Visual assessment of the timing of bruising by forensic experts, Journal of Forensic and Legal Medicine, Volume 17, Issue 3, April 2010, Pages 143-149.
- [Randeberg+ 2010], Lise L. Randeberg y Lars O. Svaasand, Ivar Baarstad, Trond Løke and Peter Kaspersen, Characterization of vascular structures and skin bruises using hyperspectral imaging, image analysis and diffusion theory, Journal of Biophotonics, Special Issue: Biophotonics for Dermatology: Science and Applications, Volume 3, Issue 1-2, pages 53–65, January 2010.
- [Rumelhart+ 1986] Rumelhart, D.E., Hinton, G.E., and Williams, R.J. Learning representations by back-propagation errors. Nature, 323, 533--536
- [Sprigle 2007], Stephen Sprigle, Dingrong Yi, Jayme Caspall, Maureen Linden, Linghua Kong y Mark Duckworth. Multispectral image analysis of bruise age, 6514-102 V. 2 (p.1 of 8).
- [Stephenson 1997] T Stephenson, Ageing of bruising in children, J R Soc Med. 1997 June; 90(6): 312–314.
- [Takamiya+ 2005], Masataka Takamiya, Kiyoshi Saigusa, Reiko Kumagai, Nori Nakayashiki y Yasuhiro Aoki. Studies on mRNA expression of tissue-type plasminogen activator in bruises for wound age estimation, INTERNATIONAL JOURNAL OF LEGAL MEDICINE, Volume 119, Number 1, 16-21, DOI: 10.1007/s00414-004-0453-4.
- [Vanezis 2000] P. Vanezis, Interpreting bruises at necropsy, J Clin Pathol 2001;54:348-355 doi:10.1136/jcp.54.5.348.

ANEXOS

ANEXO A

ANUARIO ESTADÍSTICO 2009

MINISTERIO PÚBLICO

ANUARIO ESTADÍSTICO 2009

El Anuario Estadístico 2009 del Ministerio Público es un documento técnico elaborado por la Oficina de Racionalización y Estadística de la Oficina Central de Planificación y Presupuesto, y contiene en forma sumaria información sobre el quehacer institucional a través de sus unidades orgánicas a nivel nacional, contribuyendo con la actividad estadística, como instrumento de gestión, con los objetivos institucionales.

Este documento estadístico describe temas como el sistema nacional de fiscales, el cual muestra la organización de la población fiscal, su género y la estructura funcional de las fiscalías, carga laboral desarrollada y representada en sus principales variables como son las denuncias y los expedientes en cada especialidad penal, civil, familia y mixta.

También se presenta información del Instituto de Medicina Legal a través de sus divisiones médico legales, brindando información sobre los servicios clínicos, tanatológicos y otros de índole forense que realiza.

Este documento también presenta información sobre los delitos registrados en Lima y la carga procesal de las Fiscalías Especializadas en Delitos de Tráfico Ilícito de Drogas, Corrupción de Funcionarios y de Terrorismo, y Violación de Derechos Humanos.

Finalmente, se presenta estadísticas diversas como delitos registrados por el RENADESPPLE, fiscales escolares, detenciones, casos de asistencia a víctimas y testigos, entre otros.

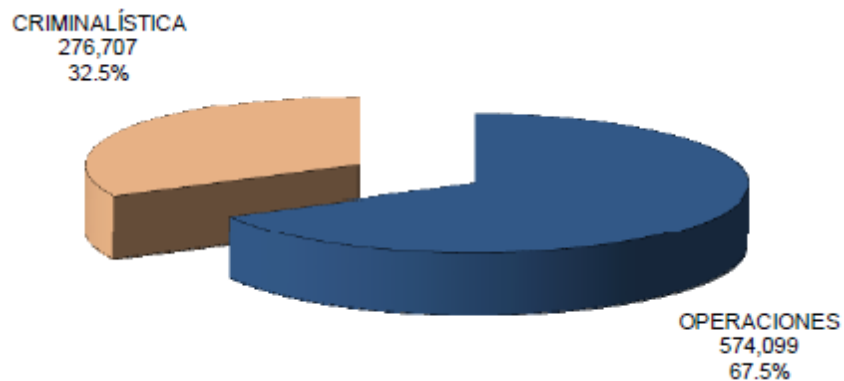
Instituto de medicina legal y ciencias forenses

El Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses como órgano de apoyo a la labor fiscal, tiene como finalidad proporcionar, dentro de su competencia, las pruebas periciales, científicas y técnicas necesarias para la búsqueda de una correcta administración de justicia, dentro del marco legal vigente, con imparcialidad, honestidad, calidad, prontitud y ética profesional con una constante vocación de servicio y responsabilidad social.

Servicios médico legales forenses

Las divisiones médico legales, informaron que durante el año 2009 registraron un total de 850,806 servicios médico legales, de los cuales 578,753 (68.02%) correspondió a los servicios de Reconocimientos Clínico Forenses; 34,298 (4.03%) a servicios de Tanatología Forense, 211,859 (24.9%) a los servicios de Laboratorio, 24,605 (2.89%) a los servicios especializados en ADN y 1,291 (0.16%) a electrocardiografías.

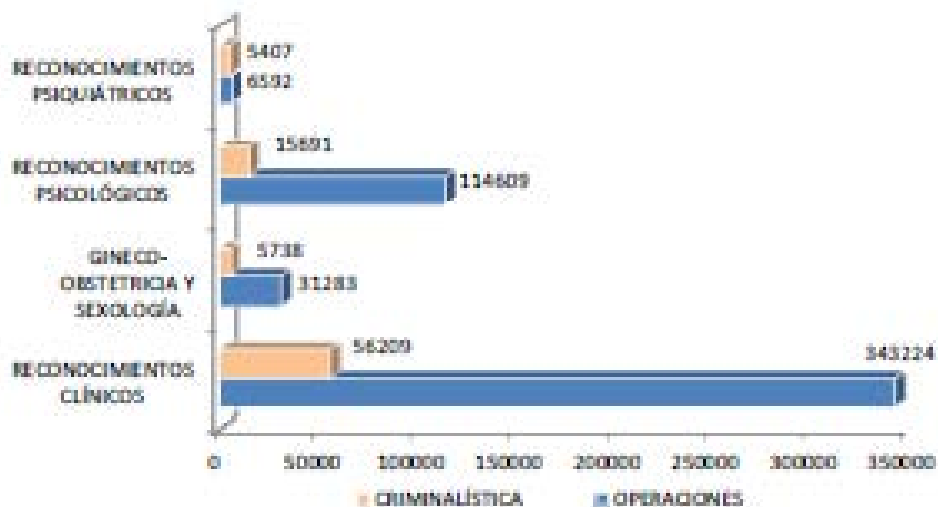
La Gerencia de Operaciones registró 574,099 (67.5%) servicios, a través de las Divisiones Médico Legales de los distritos judiciales, mientras que la Gerencia de Criminalística registró un total de 276,707 (32.5%) servicios.



Servicios Médico Legales

Clínico forenses

Se han realizado 83,045 (14.35%) servicios clínico forenses en la Gerencia de Criminalística y 495,708 (85.65%) servicios clínico forenses en la Gerencia de Operaciones que hacen un total de 578,753 servicios clínico forenses. En reconocimientos clínicos se reporta el mayor número con 399,433 (69.02%) servicios, mientras que en reconocimientos psiquiátricos se registra el menor número de servicios con 11,999 (2.07%).



Servicios clínicos forenses en criminalística y operaciones

Servicios médico legales

Durante el año 2009 a nivel nacional, se han atendido 4,133 casos de muertes por distintas causas, siendo los casos de muerte por lesiones de tránsito los que más se han registrado con 1,467 (35.5%) casos, le siguen los casos de homicidio con 1,036 (25.1%), suicidio 854 (20.7%) casos, y muerte por arma de fuego con 776 (18.8%) casos.

De igual manera se puede observar que hubo mayor incidencia en los casos relacionados con el sexo masculino con 3,036 (73.5%) frente a los 1,097 (26.5%) casos del sexo femenino.

SERVICIOS MÉDICO LEGALES	SEXO		TOTAL
	M	F	
Homicidio	758	278	1,036
Suicidio	516	338	854
Muerte por lesiones de tránsito	1,097	370	1,467
Muerte por arma de fuego	665	111	776
Total	3,036	1,097	4,133

Servicios Médico Legales Año 2009

ANEXO B

BANCO DE CASOS DE EQUIMOSIS

MUESTRA DE CASOS DE EQUIMOSIS

Los casos de equimosis para el desarrollo de esta tesis, se obtuvieron del historial de casos clínicos obtenidos por el Dr. Lino Gutiérrez, quien por iniciativa propia ha ido coleccionando y estudiando durante los dos últimos años.

La información brindada se guarda de dos formas, una parte en una carpeta para el procesamiento de imágenes y otra parte en un archivo para el entrenamiento y validación de la red neuronal. A continuación se dará mayor detalle.

Para el procesamiento de imágenes

La muestra de imágenes que se guarda en la carpeta para el procesamiento de imágenes, tiene la siguiente estructura.

La foto del lesionado tomada por el doctor legista Lino Gutiérrez.



Paciente de la División Médico Legal de Lima Centro

Y el recorte del área lesionada.



Recorte de la equimosis de la fotografía del paciente

Esta imagen, es la que será procesada por la aplicación de procesamiento de imágenes, para la obtención del pixel promedio de la zona indurada.

Para la red neuronal

En cambio, los datos almacenados en el archivo, fueron llenados con ayuda del doctor Lino Gutiérrez, quien tiene la información almacenada en su respectiva computadora y en documentos físicos. Además se incluye los resultados obtenidos por la aplicación del procesamiento de imágenes, de tal forma que se crea un archivo como el que se muestra a continuación.

				Color de piel	Edad	Sexo	Zona Laxa	Vascularidad	Tejido Óseo Subyacente	Temperatura Ambiental	Edad Equimosis	
	Rojo	Verde	Azul	(1)Blanco (2)Trigueño o Claro (3)Trigueño o Oscuro (4)Negro	(1)cero años (2)1-6 años (3)7-13 años (4)14-17 años (5)18-29 años (6)30-49 años (7)>50 años	(1)Femenino (2)Masculino	(1) Si (2)No	(1)Si (2)No	(1)Si (2)No	(1)< 8 grados (2)8-15 grados (3)>15 grados	(1)Pocas horas a 2 días (2)2 a 3 días (3)3 a 6 días (4)6 a 12 días (5)12 a 17 días (6)más de 17 días	
	Caso 1	160	144	134	2	5	1	2	2	1	2	1
	Caso 2	189	132	120	3	6	1	2	2	1	2	1
	Caso 3	187	133	101	3	6	1	2	2	1	2	1
	Caso 4	200	167	155	3	6	1	2	2	1	2	2
	Caso 5	163	106	61	3	6	1	2	2	1	2	3
	Caso 6	198	164	145	3	6	1	2	2	1	2	3
	Caso 7	164	124	114	2	5	1	2	2	1	2	2
	Caso 8	138	98	74	3	2	2	2	1	2	1	1
	Caso 9	150	140	131	1	3	2	2	2	1	3	4
	Caso 10	178	140	130	3	4	1	2	2	2	3	3
	Caso 11	152	109	117	2	4	2	2	2	1	3	3
	Caso 12	136	95	77	1	5	1	2	2	1	2	1
	Caso 13	202	174	185	1	4	1	2	2	1	3	4
	Caso 14	175	122	99	3	7	1	2	2	1	3	3
	Caso 15	157	106	79	3	6	1	2	1	2	3	5
	Caso 16	134	83	57	2	5	2	2	2	1	2	5
	Caso 17	197	139	109	2	5	2	2	2	1	3	5
	Caso 18	158	106	58	3	6	2	2	2	1	2	2
	Caso 19	165	106	60	3	5	1	2	2	1	3	5
	Caso 20	147	122	112	3	7	1	1	2	1	2	4
	Caso 21	149	126	134	1	5	1	2	1	2	3	4
	Caso 22	196	139	109	3	4	2	2	2	2	1	6
	Caso 23	132	76	59	2	6	2	2	1	1	2	2
	Caso 24	153	86	77	2	6	2	2	1	2	1	1

Caso 25	129	78	52	2	6	2	2	1	2	1	5
Caso 26	116	71	58	3	6	2	2	1	1	2	4
Caso 27	122	85	65	2	4	1	2	2	1	2	3
Caso 28	111	81	91	3	2	2	2	2	2	2	5
Caso 29	164	88	51	3	7	2	1	2	2	1	3
Caso 30	149	123	124	2	5	1	2	1	1	2	4
Caso 31	99	47	23	3	6	1	1	2	1	2	5
Caso 32	131	93	77	3	5	1	2	2	2	2	5
Caso 33	148	137	138	1	3	2	2	1	2	2	4
Caso 34	193	140	106	3	5	2	2	2	1	2	3
Caso 35	136	94	75	1	2	2	1	2	2	1	2
Caso 36	207	186	168	3	4	1	2	2	1	1	5
Caso 37	114	96	92	2	5	1	2	1	2	1	3
Caso 38	39	26	9	3	5	2	2	1	2	2	4
Caso 39	92	76	51	3	5	1	2	1	2	2	3
Caso 40	175	105	93	2	6	1	2	2	2	1	2
Caso 41	117	89	67	1	3	1	2	2	1	2	5
Caso 42	111	61	34	2	6	1	1	1	1	2	1
Caso 43	166	123	133	1	4	2	2	1	2	2	4
Caso 44	121	64	44	3	6	2	2	2	1	1	4
Caso 45	192	153	163	1	2	2	2	2	2	2	4
Caso 46	219	114	122	3	6	2	2	2	2	1	2
Caso 47	184	115	102	3	5	2	2	1	1	2	3
Caso 48	183	133	142	2	4	1	2	2	1	2	2
Caso 49	191	135	108	2	5	1	2	2	1	3	3
Caso 50	105	75	51	3	3	1	2	2	1	2	4

ANEXO C

INTERVALO DE COLORES DE EQUIMOSIS

INTERVALOS DE COLORES DE EQUIMOSIS

El software utilizado para obtener los intervalos de colores RGB de los píxeles de las imágenes de las equimosis fue el Helicon Filter 5.0, el cual es un programa de edición de imagen muy completo que ofrece cientos de posibilidades con un manejo sorprendentemente sencillo.

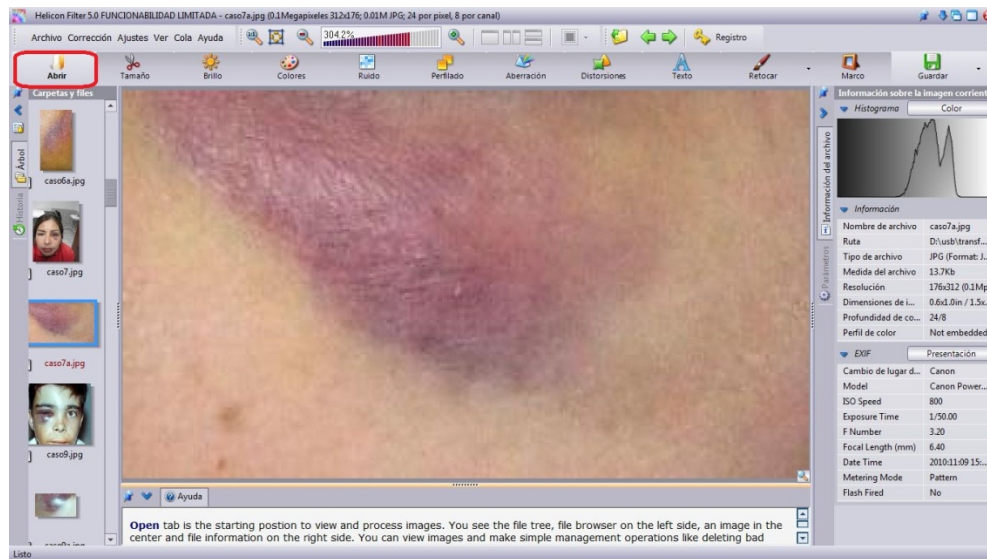


El programa tiene soporte para decenas de formatos de imagen, entre los que destacan, además de los típicos JPG, PNG y GIF; otros como Kodak PDC, Nikon NEF, Canon RAW y Foveon X3F.

Las opciones de edición de imágenes son muy variadas. Podemos realizar acciones simples como recortar imágenes o cambiar el tono y la saturación. Pero también tenemos a nuestra disposición diferentes tipos de filtros, corrección de color o ajustes de ruido.

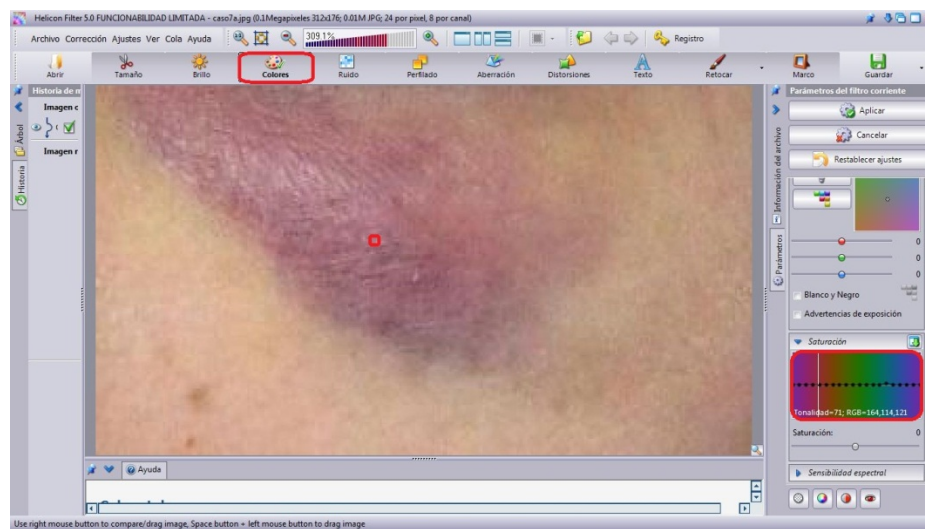
Para la obtención de los valores de los píxeles RGB de las imágenes de los casos clínicos de equimosis, se desarrollaron los siguientes pasos:

PASO 1: Selección de la imagen de la equimosis, a través de la opción *Abrir*.



Interfaz principal del Helicon Filter

PASO 2: Al seleccionar en el menú la opción *Colores*, notamos que el cursor toma los valores RGB de los píxeles de la imagen, según la posición del cursor, los cuales aparecen en el margen derecho inferior de la pantalla de la aplicación. Como se señala a continuación.



Interfaz de colores del Helicon Filter



Paleta de colores RGB de la imagen

PASO 3: Encontrar la lógica de la relación de los valores RGB de los pixeles y utilizarlos en la programación del procesamiento de imágenes en la plataforma Netbeans - Java.

```

Diagnosticador - NetBeans IDE 7.0
File Edit View Navigate Source Refactor Run Debug Profile Team Tools Window Help

gui.java
Source Design
462 pixel = -16777216;
463 }
464 }
465 }
466 }
467 }
468 }
469 if(red>80 && red<117){
470     if(green>50 && green<100 ){
471         if(blue>50 && blue<100 ){
472             if(Math.abs(red - green)< 55 &&
473                 Math.abs(green - blue)< 28 &&
474                 Math.abs(red - green)> 15
475             ){
476                 red_prom=(Integer)(red_prom+red)/2;
477                 green_prom=(Integer)(green_prom+green)/2;
478                 blue_prom=(Integer)(blue_prom+blue)/2;
479                 pixel = -16777216;
480             }
481         }
482     }
483 }
484 }

```

Ejemplo de la programación de un intervalo de colores

El software Helicon Filter nos permite hallar los rangos de colores de la zona indurada de una equimosis, pero esto no es suficiente ya que se tiene que hallar la lógica de la relación entre los colores Rojo, Verde y Azul, y de esta forma poder escoger un pixel de la zona indurada. Finalmente mediante muchas pruebas se encontraron 25 rangos de colores con sus respectiva lógica de colores. A continuación se listará algunos de ellos.

```
if(red>83 && red<95){
```

```
    if(green>33 && green<65 ){
```

```
        if(blue>64 && blue<75 ){
```

```
            if(Math.abs(red - green)< 53 &&
```

```
                Math.abs(green - blue)< 30 &&
```

```
                Math.abs(red - green)> 35 &&
```

```
                Math.abs(green - blue)> 18)
```

```
if(red>60 && red<70){
```

```
    if(green>33 && green<47 ){
```

```
        if(blue>30 && blue<44 ){
```

```
            if(Math.abs(red - green)< 35 &&
```

```
                Math.abs(green - blue)< 12 &&
```

```
                Math.abs(red - green)> 20 &&
```

```
                Math.abs(green - blue)> 2)
```

```
if(red>17 && red<42){
```

```
    if(green>10 && green<30 ){
```

```
        if(blue>1 && blue<12 ){
```

```
            if(Math.abs(red - green)< 19 &&
```

```
                Math.abs(green - blue)< 19 &&
```

```
                Math.abs(red - green)> 4 &&
```

```
                Math.abs(green - blue)> 4)
```

```

if(red>80 && red<117){
    if(green>50 && green<100 ){
        if(blue>50 && blue<100 ){
            if(Math.abs(red - green)< 55 &&
                Math.abs(green - blue)< 28 &&
                Math.abs(red - green)> 15 )

```

```

if(red>95 && red<130){
    if(green>70 && green<159 ){
        if(blue>60 && blue<159 ){
            if(Math.abs(red - green)< 20 &&
                Math.abs(red - blue)< 40 &&
                Math.abs(green - blue)< 20 &&
                Math.abs(red - blue)> 13 &&
                Math.abs(green - blue)> 13

```

```

if(red>105 && red<145){
    if(green>80 && green<100 ){
        if(blue>100 && blue<122 ){
            if(Math.abs(red - green)< 38 &&
                Math.abs(red - blue)< 27 &&
                Math.abs(green - blue)< 27 &&
                Math.abs(red - green)> 27 &&
                Math.abs(red - blue)> 1&&
                Math.abs(green - blue)> 12)

```


ANEXO D

PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DE EQUIMOSIS

PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DE EQUIMOSIS

Una vez obtenido los intervalos de colores RGB con su respectiva lógica de colores, se procede a la programación de la aplicación en la plataforma NetBeans, el cual es un entorno de desarrollo, hecho para el lenguaje de programación Java.



NetBeans es un proyecto de código abierto de gran éxito con una gran base de usuarios, una comunidad en constante crecimiento, y con cerca de 100 socios en todo el mundo. La plataforma NetBeans permite que las aplicaciones sean desarrolladas a partir de un conjunto de componentes de software llamados módulos. Un módulo es un archivo Java que contiene clases de java escritas para interactuar con las APIs de NetBeans y un archivo especial (manifest file) que lo identifica como módulo. Las aplicaciones construidas a partir de módulos pueden ser extendidas agregándole nuevos módulos. Debido a que los módulos pueden ser desarrollados independientemente, las aplicaciones basadas en la plataforma NetBeans pueden ser extendidas fácilmente por otros desarrolladores de software.

Las clases `ImagenIO`, `BufferedImage` e `ImageIcon` de Java trabajan con las imágenes de equimosis seleccionadas por el usuario de la muestra de casos clínicos obtenidos del historial de la División Médico Legal de Lima Central, estas imágenes fueron previamente recortadas, enfocándose principalmente en la zona indurada de la equimosis. A continuación se mostrará la forma en que se obtiene el pixel promedio en RGB.

PASO 1: Se selecciona una imagen de equimosis de la muestra de casos clínicos.



Recorte de la fotografía del paciente lesionado (Caso 21).

PASO 2: Se corre la aplicación para el procesamiento de imágenes, generándose una imagen a blanco y negro, donde los puntos negros representan los píxeles de la zona indurada. Como se muestra en la siguiente imagen.



Imagen a blanco y negro de la equimosis anterior.

PASO 3: El tercer y último paso consiste en obtener el promedio de los colores de los píxeles obtenidos en el segundo paso, el cual será representado por medio de un objeto de tres campos, que se basará en la técnica RGB (Rojo, verde y azul) del modelo de colorimetría. Los campos del objeto están representados por números que se encuentran entre 0 – 255 (valores decimales de los colores). Estos tres valores se considerarán posteriormente dentro de las entradas de la red neuronal artificial.

Básicamente, la zona indurada de una equimosis es una lista de tríos de valores entre 0 y 255; cada trío representa un píxel y dentro de éste hay un valor para el componente de rojo (*R*), otro para el verde (*G*) y otro para el azul (*B*). Los valores van entre 0 (ausencia de ese color) y 255 (presencia total de ese color). Así pues:

$$píxel = \{ R, G, B \}$$

El promedio se obtiene sumando los valores de los píxeles obtenidos de la zona indurada y dividiendo el valor total entre el número de píxeles, como se muestra en la siguiente fórmula.

$$Píxel \text{ Promedio} = \frac{\sum Pixel \text{ de la zona indurada}}{Número \text{ total de píxeles de la zona indurada}}$$

Este procedimiento se realiza para el conjunto de valores del color Rojo, Verde y Azul por separado, obteniéndose de esta forma un objeto de tres valores promedios. Como se muestra en el resultado de la aplicación de Java.



Resultados de la aplicación de procesamiento de imágenes.

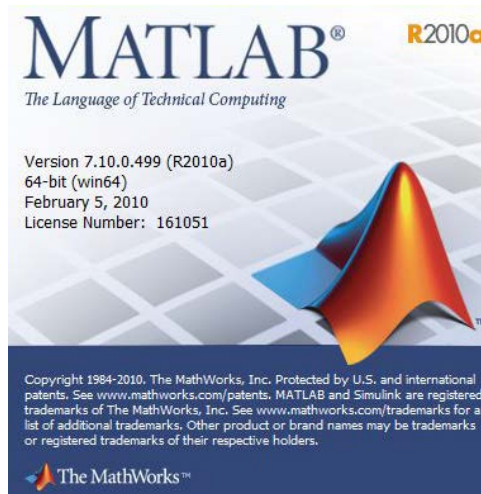
ANEXO E

COMANDO NNTOOL DE MATLAB

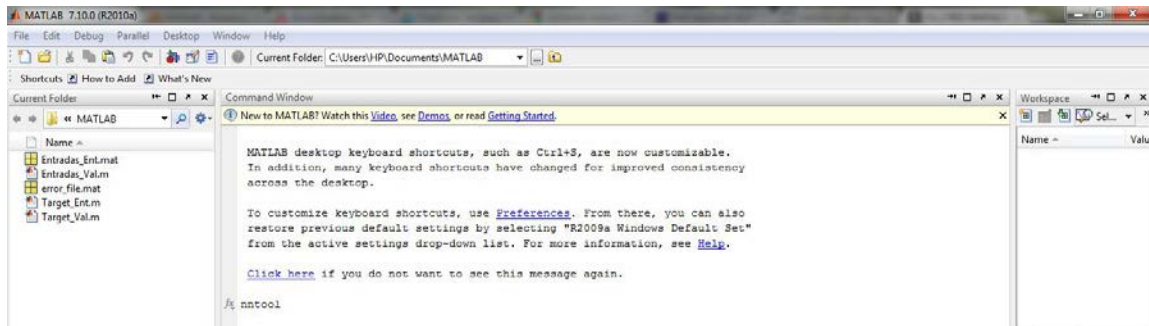
COMANDO NNTOOL DE MATLAB

Matlab ha demostrado ser un programa de desarrollo muy completo en distintas áreas, más que nada en las tecnológicas. Contiene un ambiente de programación similar a C++ y Java, incluso permite la programación y depuración en estos lenguajes, además de incluir una gran variedad de toolboxes que son programas ya desarrollados que facilitan y ahorran la programación al incluir un sin fin de aplicaciones, entre ellas las redes neuronales.

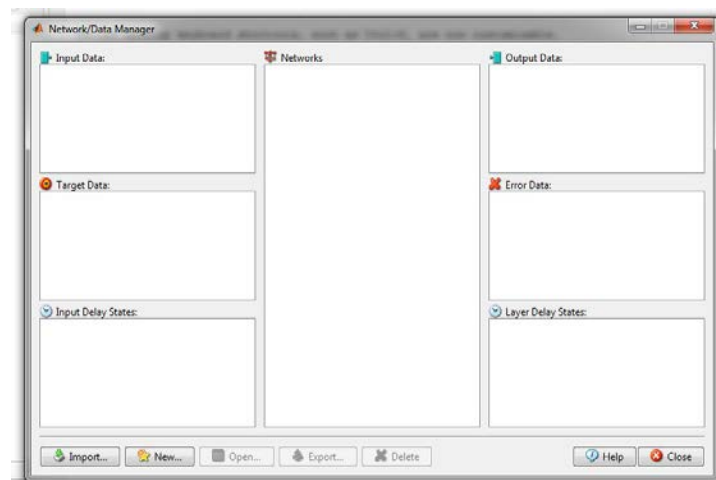
Matlab ya trae consigo funciones de redes neuronales en su Neural Network Toolbox e incluso cuenta con una interfaz gráfica que facilita ampliamente el diseño de redes neuronales. Al usar esta toolbox ya no hay que preocuparse por hacer el programa de una red neuronal, sólo hay que contar con las características de la red como el número de entradas/salidas, rango de valores entradas/salidas, capas ocultas y número de neuronas, funciones de activación, el algoritmo de entrenamiento y los parámetros de entrenamiento (MSE, α , η , μ).



Para acceder a la GUI de RNA's es necesario introducir el comando *nntool* en el espacio de trabajo de Matlab, lo que permite acceder a la ventana Administradora de RNA's (*Network/ Data Manager*). La interfaz gráfica de redes neuronales permite diseñar redes, visualizarlas, entrenarlas, simularlas, y más opciones muy fácilmente, sólo hay que definir los patterns (inputs/targets), la red (número de entradas/salidas, capas ocultas y número de neuronas por capa), y cambiar a nuestra conveniencia algunos parámetros que trae por default para cada tipo de red. Una explicación más amplia sobre el uso de esta interfaz viene en el menú help de la ventana principal de Matlab



Interfaz principal de Matlab.



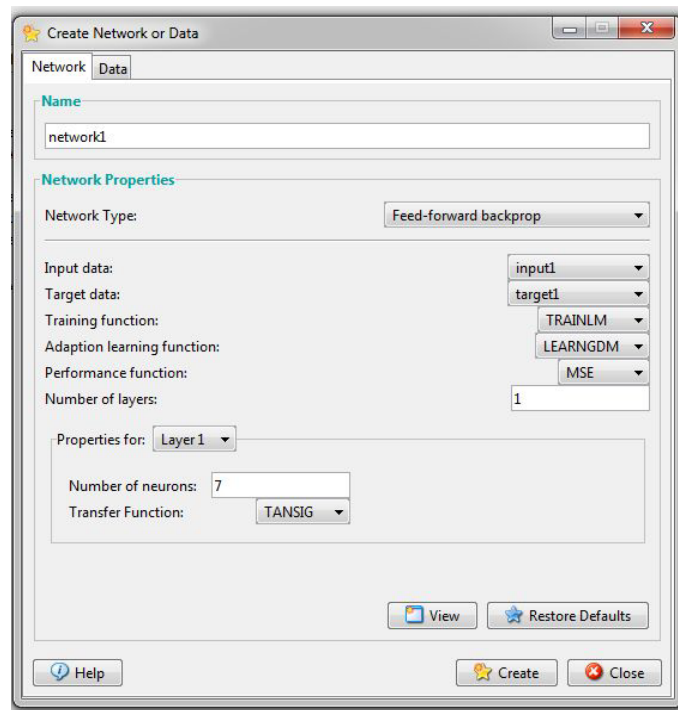
Interfaz del comando *nntool* de Matlab.

La GUI del *nntool*, permite:

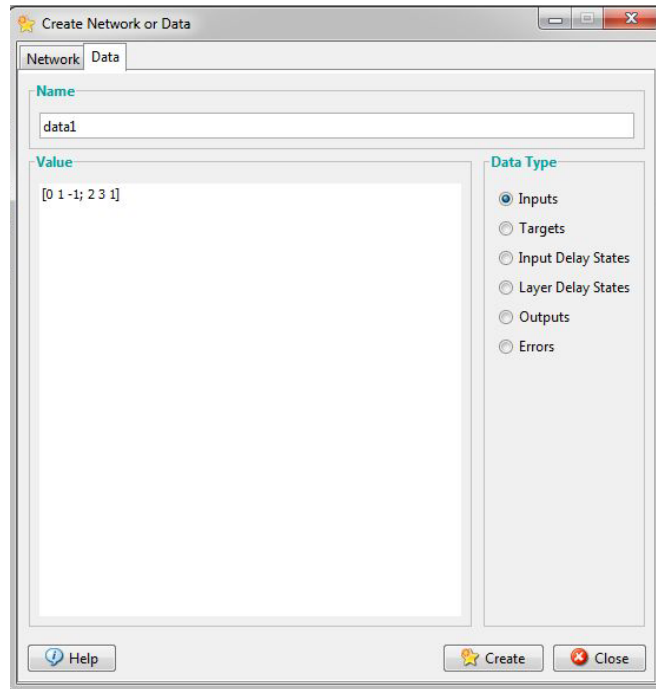
- Crear una RNA nueva mediante la opción *New Network*.
- Crear vectores o matrices mediante la opción *New Data*. Los datos de los vectores o matrices pueden ser ya sea de entradas, salidas deseadas, valores para retardos de tiempo empleados en las entradas, las capas ocultas o de salida, valores de salidas, o valores de error.
- Importar vectores o matrices de datos desde el espacio de trabajo de Matlab o desde un archivo almacenado en algún dispositivo de memoria mediante la opción *Import*.

- Exportar datos al espacio de trabajo de Matlab o almacenar estos datos en algún dispositivo de memoria presente en el sistema utilizando la opción *Export*.

Al activar la opción *New Network* se despliega la ventana *Create New Network*, la cual permite seleccionar la arquitectura deseada para la nueva RNA y nos permite introducir los parámetros necesarios dependiendo del tipo de RNA a crear. En la ventana *Create New Network* desplegada se puede introducir: el nombre de la RNA a crear (en el espacio *Network Name*), los valores para los datos de entradas (en el espacio *Input data*), y de salidas deseadas (en el espacio *Target data*). La introducción de los datos de entradas y salidas deseadas puede realizarse de manera manual en el espacio correspondiente o extrayendo estos de algún vector o matriz de datos previamente declarado en la ventana *Network/Data Manager* mediante los menú desplegables *Set to input* y *Set to target*

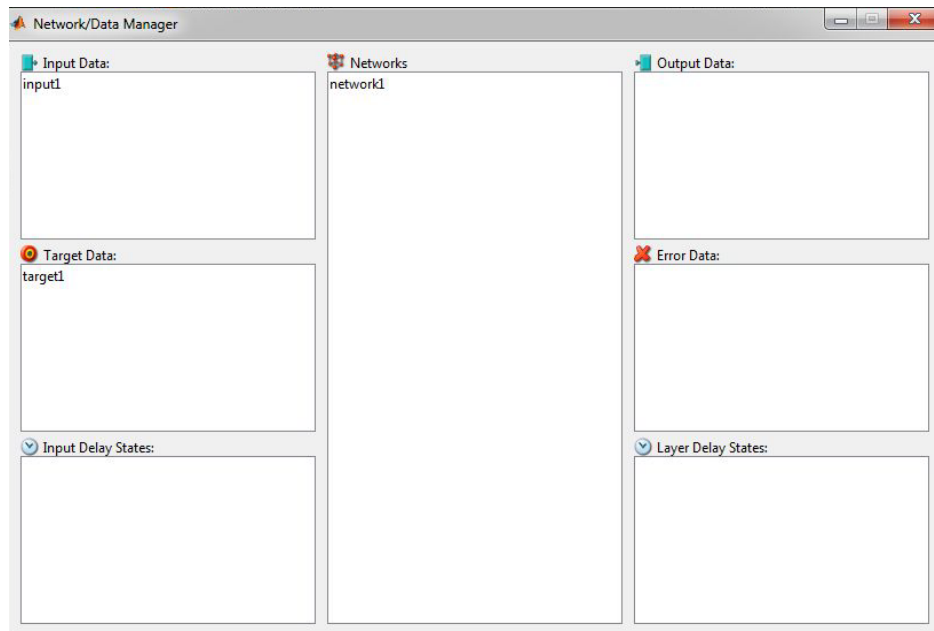


Los parámetros de la interfaz *nntool*.



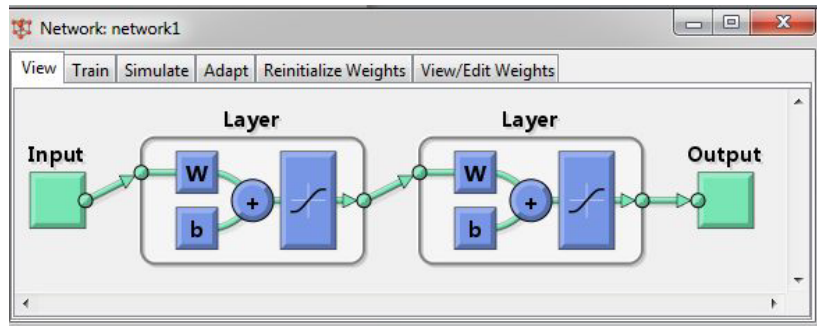
Interfaz para el ingreso de data.

Después de crear la red neuronal, aparece en Network / Data Manager, como se muestra a continuación.



Interfaz *Network/Data Manager*

Cuando ya se cuenta con una RNA en el administrador se puede observar su diagrama representativo (*View*), después de haber hecho doble click sobre la red neuronal respectiva en el campo *Network/Data Manager*.

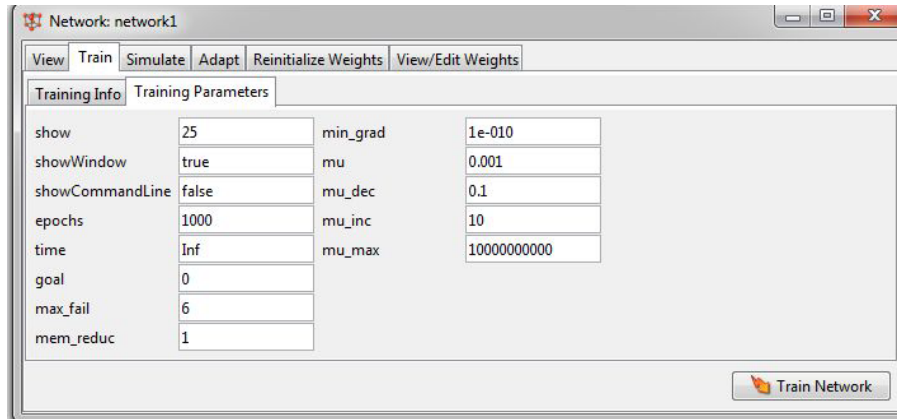


Vista de la arquitectura de la red neuronal

La opción *Train* toma los valores del banco de casos de equimosis de entrenamiento, los cuales son procesados según los parámetros seleccionados al momento de crear la red neuronal artificial, con el fin de obtener la matriz de pesos final.

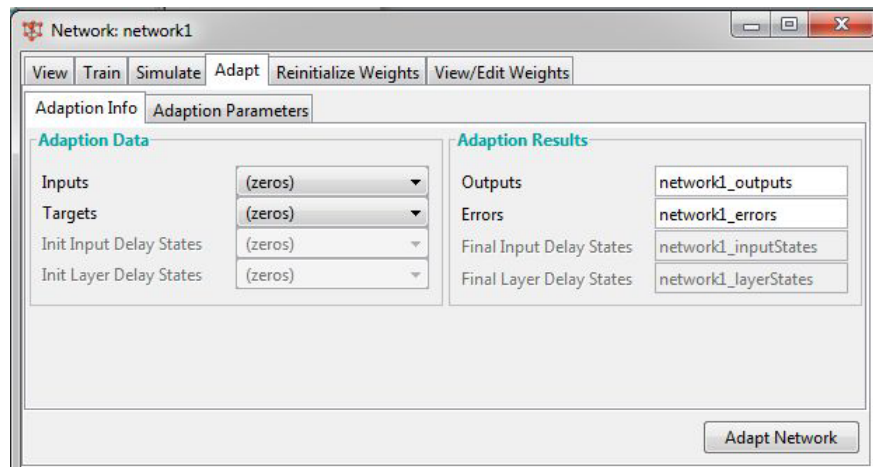
Esta interfaz está diseñada para configurar y ejecutar el entrenamiento de la red. Se divide en dos paneles principales: 'Training Data' y 'Training Results'.
Training Data: Contiene cuatro campos de selección de valores: 'Inputs' (seleccionado '(zeros)'), 'Targets' (seleccionado '(zeros)'), 'Init Input Delay States' (seleccionado '(zeros)') y 'Init Layer Delay States' (seleccionado '(zeros)').
Training Results: Muestra los destinos de los datos durante el entrenamiento: 'Outputs' (network1_outputs), 'Errors' (network1_errors), 'Final Input Delay States' (network1_inputStates) y 'Final Layer Delay States' (network1_layerStates).
 En la parte inferior derecha, hay un botón con un icono de fuego que dice 'Train Network'. La interfaz también incluye las mismas pestañas de navegación que la vista anterior.

Interfaz para el entrenamiento de la red neuronal



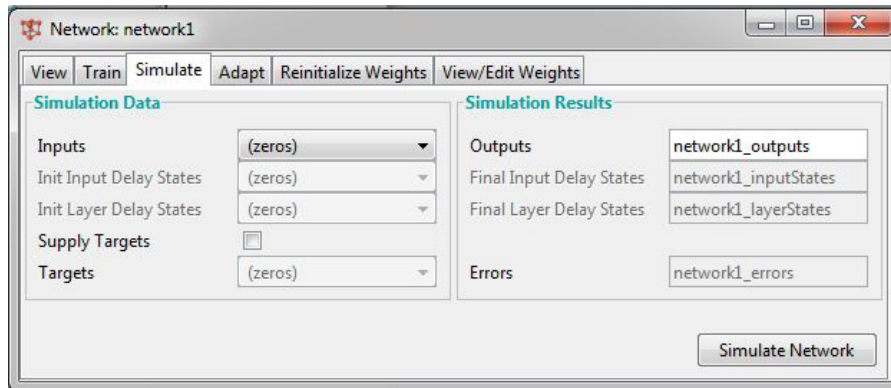
Interfaz para la validación de la red neuronal.

La opción Adapt, se encarga de la fase de validación de la red neuronal, a través del banco de casos de equimosis diferente a la utilizada en la fase de entrenamiento. Mediante esta opción se obtiene las salidas y errores de la red neuronal.



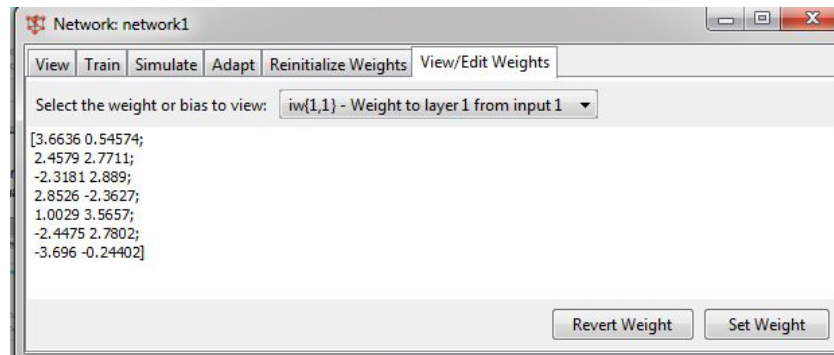
Interfaz para la validación de la red neuronal.

La opción *Simulate* toma los valores de un vector de entradas previamente definido en la ventana *Network/Data Manager* y genera la salida correspondiente de la RNA ya entrenada y validada.



Interfaz para la simulación de la red neuronal.

La opción *View/ Edit Weights* nos permite ver y editar la matriz de pesos de la red neuronal.



Interfaz de la matriz de pesos de la red neuronal.

ANEXO F

DISEÑO, ENTRENAMIENTO Y VALIDACIÓN DE LAS RNAs

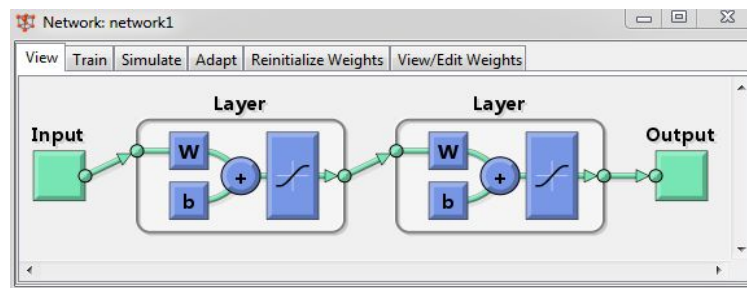
DISEÑO, ENTRENAMIENTO Y VALIDACIÓN DE LAS REDES NEURONALES ARTIFICIALES

A continuación vamos a desarrollar a detalle todo el proceso de diseño, entrenamiento y validación por cada red neuronal hasta abarcar las 7 redes neuronales más representativas de esta investigación.

1. Diagnóstico 1

Diseño de la RNA

El Diagnóstico 1 está representado por el siguiente modelo de red neuronal.



El Diagnóstico 1 tiene la siguiente configuración de parámetros:

Configuración de la red neuronal (Create Network or Data):

- Network:** network1
- Network Properties:**
 - Network Type: Feed-forward backprop
 - Input data: inputsEnt
 - Target data: targetsEnt
 - Training function: TRAINLM
 - Adaption learning function: LEARNLGM
 - Performance function: MSE
 - Number of layers: 2
- Properties for: Layer 1**
 - Number of neurons: 6
 - Transfer Function: TANSIG

Botones: View, Restore Defaults, Help, Create, Close.

La red neuronal creada muestra la siguiente configuración:

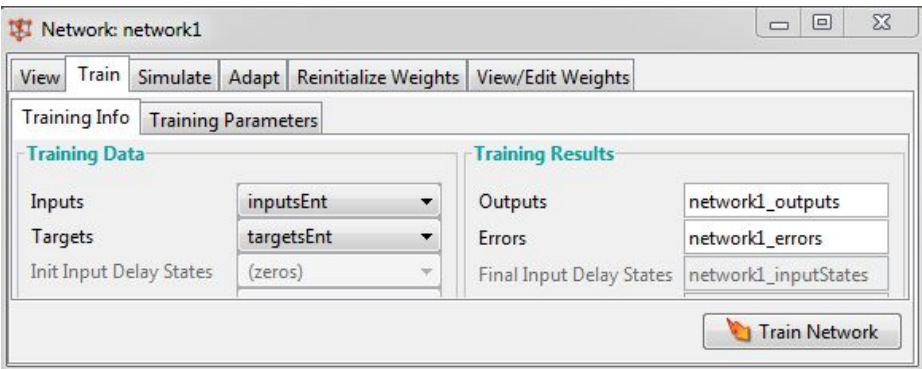
- Tipo de red: Feed – forward backpropagation
- Rango de entradas y salidas: 0 y 1, por la normalización de los datos.
- Función de Entrenamiento: TRAINLM, función de formación en red que actualiza los valores de la matriz de pesos y bias de acuerdo con la optimización de Levenberg-Marquardt.
- Función de Aprendizaje: LEARNGDM, función de aprendizaje de gradiente descendiente con momentum de los pesos y bias.
- Función de Rendimiento: MSE, función de rendimiento basado en el error cuadrado medio.
- Numero de capas: 3 (1 de entrada, 2 ocultas y 1 de salida).
- Número de neuronas por capa: la primera capa cuenta con 10 neuronas en la capa de entrada, 6 neuronas en cada capa oculta y una neurona en la capa de salida.
- Propiedades de las capas: ambas capas hacen uso de la función Tansig.
- Función de transferencia sigmoidea tangente e hiperbólica.

En la siguiente tabla mostramos el resumen de los parámetros del Diagnosticador

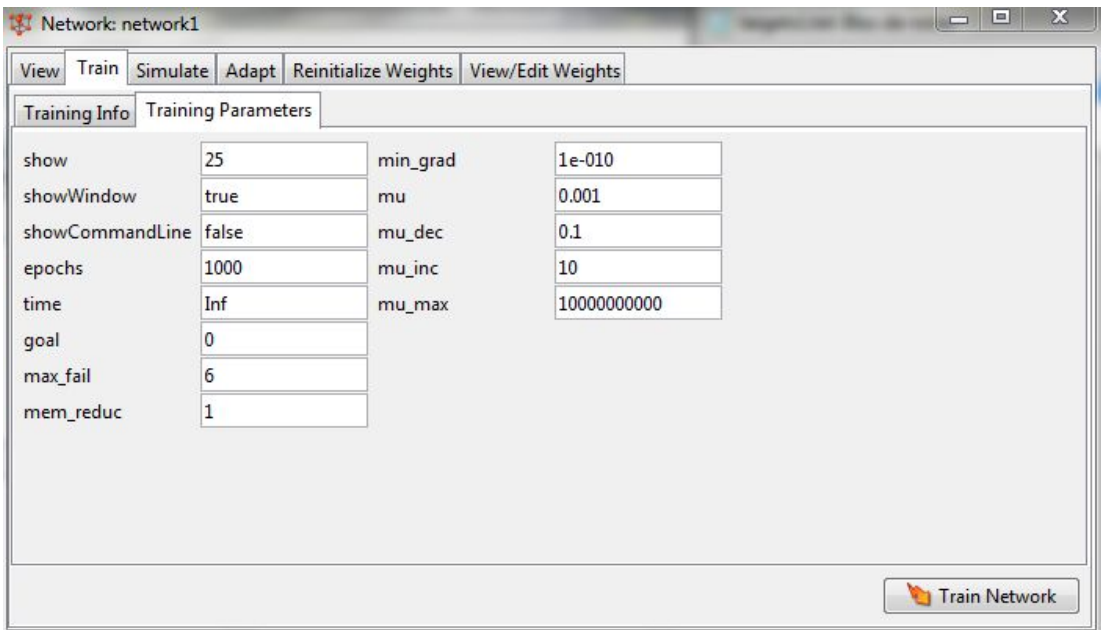
Variables	Descripción
Tipo de red	Feed – forward backpropagation
Rango de entradas y salidas	0 y 1
Función de Entrenamiento	TRAINLM
Función de Aprendizaje	LEARNGDM
Función de Rendimiento	MSE
Propiedades de las capas	Función Tansig.
Función de transferencia	Sigmoidea, tangente e hiperbólica.
Capa de entradas	10 neuronas
Capa oculta 1	6 neuronas
Capa oculta 2	6 neuronas
Capa oculta 3	0
Capa de salida	1 neurona

Entrenamiento

Se usa el banco de 35 casos clínicos designados para esta fase.

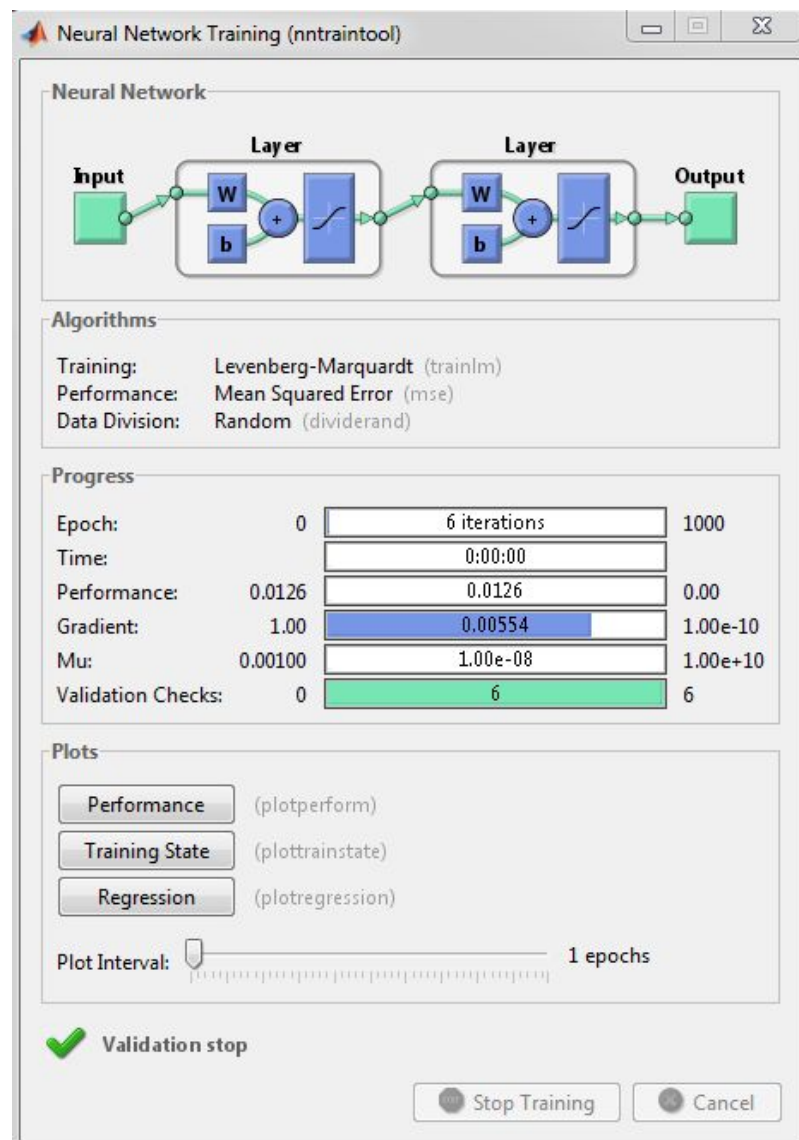


Los parámetros para el entrenamiento del Diagnosticador 1 se muestran en la siguiente figura.

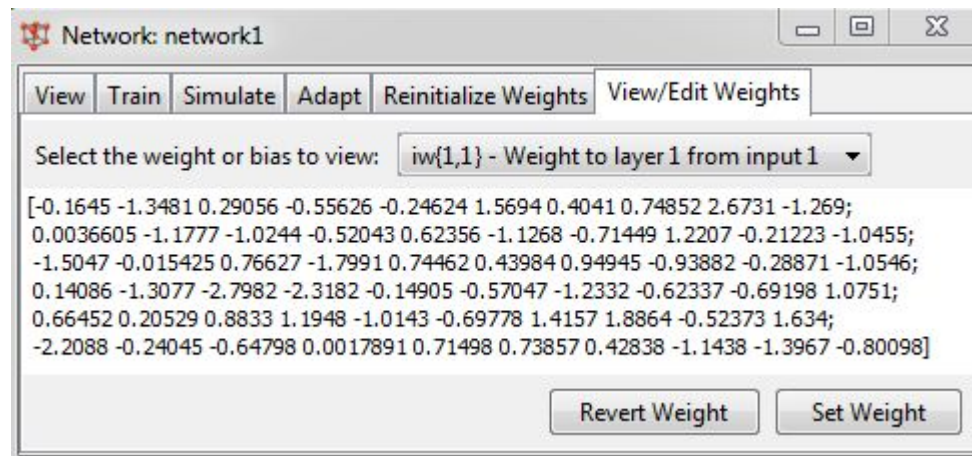


El resultado que nos muestra el entrenamiento del diagnosticador1 es el performance o rendimiento que usa la función del error de cuadrado medio que es el siguiente:

ERROR: 1.26%

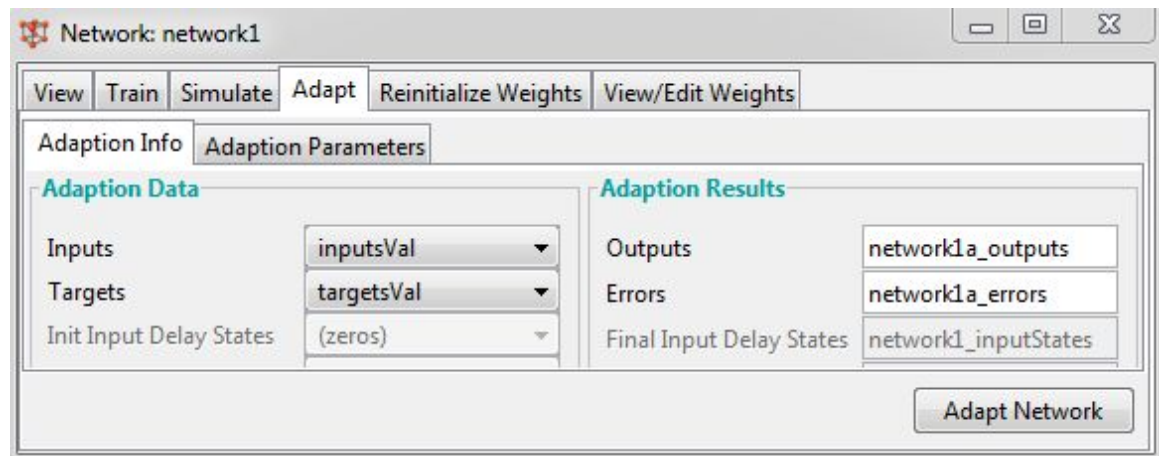


La matriz de pesos de la red neuronal después del entrenamiento es la siguiente:

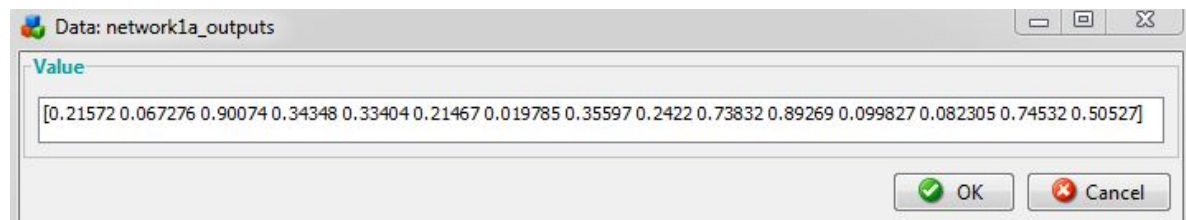


Validación

Se usa el banco de 15 casos clínicos de equimosis designados para esta fase.



Al validar el Diagnosticador 1 se obtienen los siguientes outputs

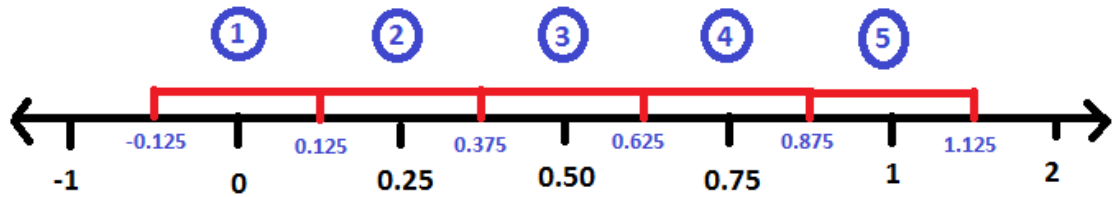


Debido a que la salida de la red neuronal está representada por intervalos de tiempo, como se señala a continuación:

Codificación	Intervalos de la Variable de Salida
1	Pocas horas a 2 días
2	de 2 a 3 días
3	de 3 a 6 días
4	de 6 a 12 días
5	de 12 a 17 días
6	más de 17 días

Entonces el error en la validación también se debe hallar en función de intervalos como a continuación se explicara.

Casos Clínicos	Salida deseada (y)	Salida deseada normalizada (y)
Caso 36	2	0.25
Caso 37	1	0
Caso 38	5	1
Caso 39	2	0.25
Caso 40	2	0.25
Caso 41	2	0.25
Caso 42	2	0.25
Caso 43	2	0.25
Caso 44	2	0.25
Caso 45	3	0.5
Caso 46	3	0.5
Caso 47	2	0.25
Caso 48	2	0.25
Caso 49	4	0.75
Caso 50	3	0.5



Se ha dividido en 5 intervalos debido a que en el banco de casos de equimosis para validación no existe algún ejemplo de equimosis del tipo de salida 6 (equimosis de más de 17 días). Además la tasa de error será medida utilizando la fórmula del error cuadrático medio para comprobar que el tipo de red seleccionado es el más adecuado.

$$Ec = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Y_i - S_i|^2$$

Donde:

Ec = Error cuadrático.

N = Número de muestras en la validación.

Y_i = Salida objetivo de la red para la muestra i.

S_i = Salida estimada de la red para la muestra i.

En nuestro caso el valor de N es 15. En base a lo anterior tenemos el siguiente cuadro:

Salida deseada (y)	Intervalos		Salida obtenida RNA (t)	Sin aplicar intervalos =POTENCIA(ABS(y-t),2)	Aplicando intervalos	Pertenece t al intervalo
	y - 0.125	y + 0.125				
0.25	0.125	0.375	0.216	0.001156	0	si
0	-0.125	0.125	0.067	0.004489	0	si
1	0.875	1.125	0.901	0.009801	0	si
0.25	0.125	0.375	0.343	0.008649	0	si
0.25	0.125	0.375	0.334	0.007056	0	si

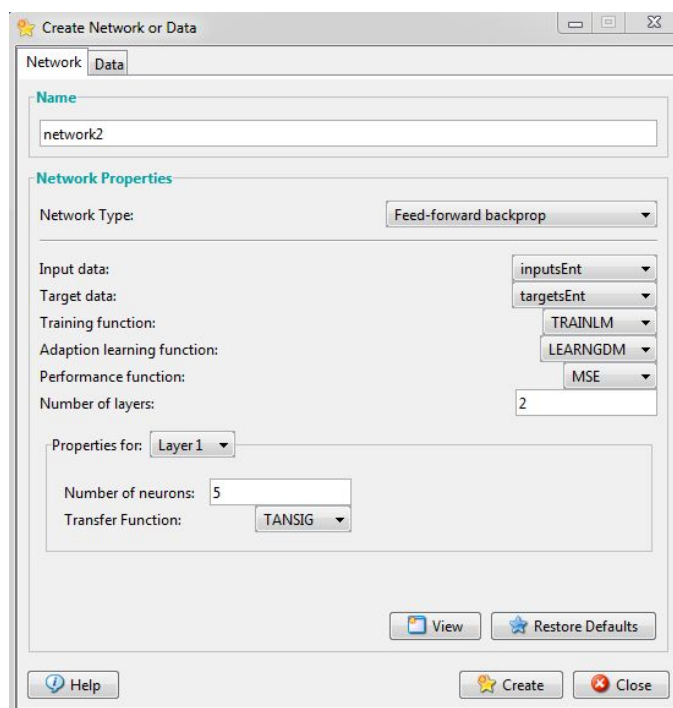
0.25	0.125	0.375	0.215	0.001225	0	si
0	-0.125	0.125	0.02	0.0004	0	si
0.25	0.125	0.375	0.356	0.011236	0	si
0.25	0.125	0.375	0.242	6.4E-05	0	si
0.75	0.625	0.875	0.738	0.000144	0	si
0.5	0.375	0.625	0.893	0.154449	0.154449	no
0.25	0.125	0.375	0.1	0.0225	0.0225	no
0.25	0.125	0.375	0.082	0.028224	0.028224	no
0.75	0.625	0.875	0.745	0.000025	0	si
0.5	0.375	0.625	0.505	0.000025	0	si
$\Sigma/15$				0.016629533	0.0136782	

Como se observa en el cuadro anterior, al aplica el ECM sin considerar los intervalos, el error es mayor (1.66%), en cambio al aplicar el ECM con la definición de intervalos es menor (1.37%) ya que no se considera el ECM de casos cuya salida obtenida por la red neuronal está dentro del intervalo de la salida deseada.

2. Diagnosticador 2

Diseño de la RNA

El Diagnosticador 2 está representado por el siguiente modelo de red neuronal.



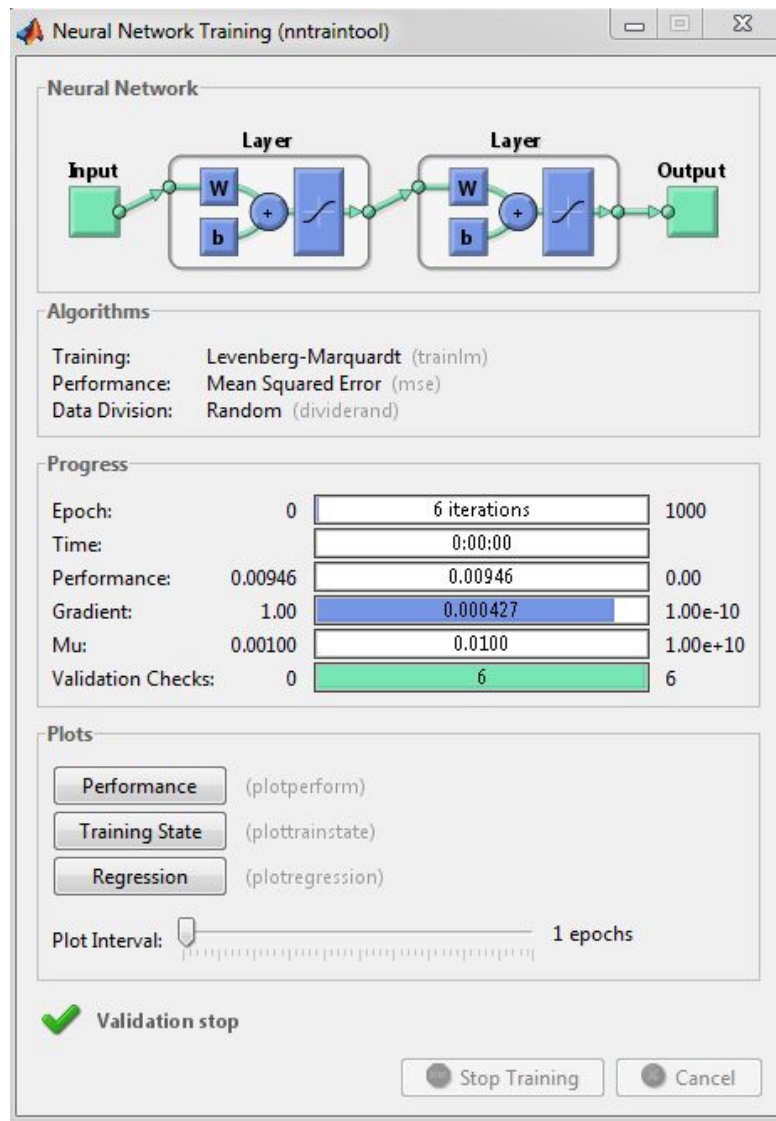
El Diagnosticador 2 tiene la siguiente configuración de parámetros:

Variables	Descripción
Tipo de red	Feed – forward backpropagation
Rango de entradas y salidas	0 y 1
Función de Entrenamiento	TRAINLM
Función de Aprendizaje	LEARNGDM
Función de Rendimiento	MSE
Propiedades de las capas	Función Tansig.
Función de transferencia	Sigmoidea, tangente e hiperbólica.
Capa de entradas	10 neuronas
Capa oculta 1	5 neuronas
Capa oculta 2	5 neuronas
Capa oculta 3	0
Capa de salida	1 neurona

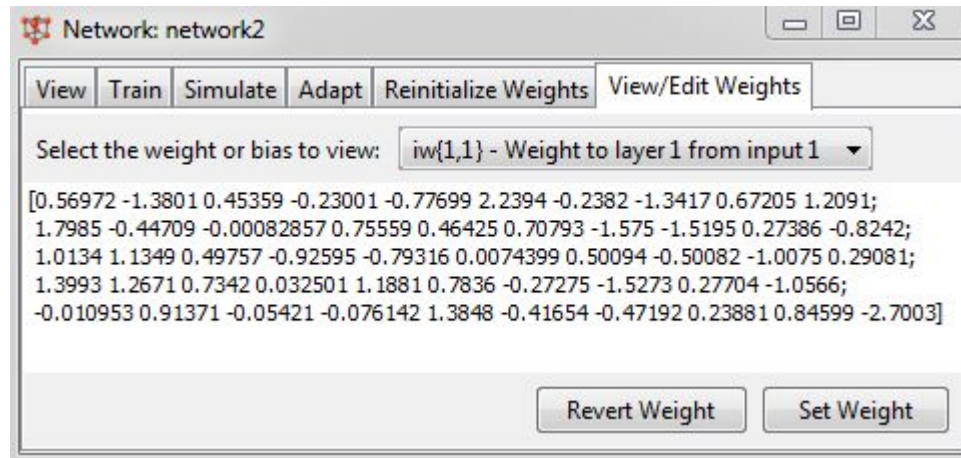
Entrenamiento

El resultado que nos muestra el entrenamiento del Diagnosticador 2 es el performance o rendimiento que usa la función del error medio que es el siguiente:

ERROR: 0.946%



La matriz de pesos de la red neuronal después del entrenamiento es la siguiente:



Validación

Salida deseada (y)	Intervalos		Salida obtenida RNA (t)	Sin aplicar intervalos =POTENCIA(ABS(y-t),2)	Aplicando intervalos	Pertenece t al intervalo
	y - 0.125	y + 0.125				
0.25	0.125	0.375	0.938	0.473344	0.473344	no
0	-0.125	0.125	0.984	0.968256	0.968256	no
1	0.875	1.125	0.025	0.950625	0.950625	no
0.25	0.125	0.375	0.879	0.395641	0.395641	no
0.25	0.125	0.375	0.968	0.515524	0.515524	no
0.25	0.125	0.375	0.104	0.021316	0.021316	no
0	-0.125	0.125	0.028	0.000784		si
0.25	0.125	0.375	0.093	0.024649	0.024649	no
0.25	0.125	0.375	0.763	0.263169	0.263169	no
0.75	0.625	0.875	0.466	0.080656	0.080656	no
0.5	0.375	0.625	0.977	0.227529	0.227529	no
0.25	0.125	0.375	0.109	0.019881	0.019881	no
0.25	0.125	0.375	0.057	0.037249	0.037249	no

0.75	0.625	0.875	0.367	0.146689	0.146689	no
0.5	0.375	0.625	0.362	0.019044	0.019044	no
				0.2762904	0.27623813	

El ECM de la fase de validación del Diagnosticador 2 es: 27.62%

3. Diagnosticador 3

Diseño de la RNA

El Diagnosticador 3 está representado por el siguiente modelo de red neuronal.

Create Network or Data

Network Data

Name: network3

Network Properties

Network Type: Feed-forward backprop

Input data: inputsEnt

Target data: targetsEnt

Training function: TRAINLM

Adaption learning function: LEARNGDM

Performance function: MSE

Number of layers: 2

Properties for: Layer 1

Number of neurons: 7

Transfer Function: TANSIG

View Restore Defaults

Help Create Close

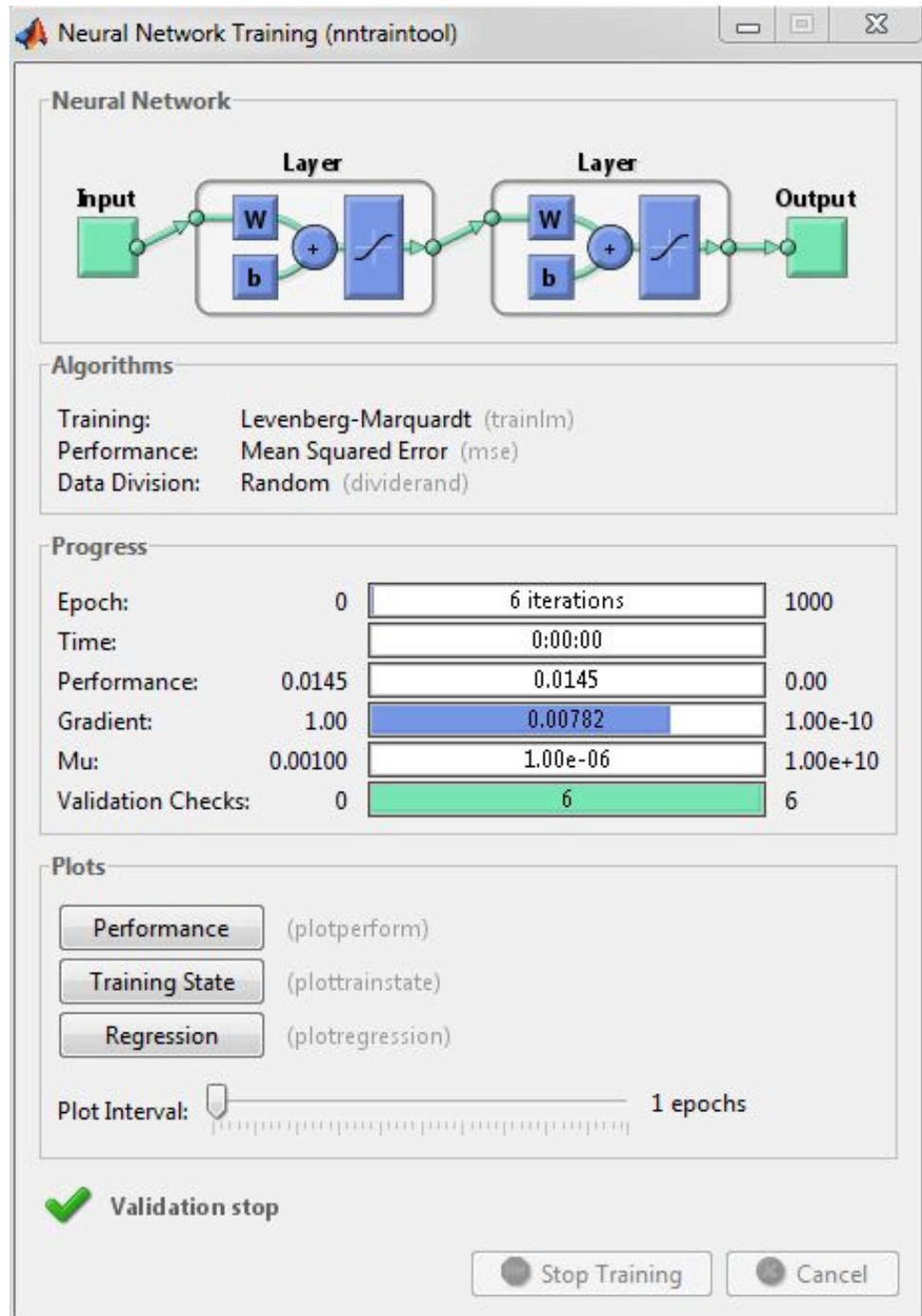
El Diagnosticador 3 tiene la siguiente configuración de parámetros:

Variables	Descripción
Tipo de red	Feed – forward backpropagation
Rango de entradas y salidas	0 y 1
Función de Entrenamiento	TRAINLM
Función de Aprendizaje	LEARNGDM
Función de Rendimiento	MSE
Propiedades de las capas	Función Tansig.
Función de transferencia	Sigmoidea, tangente e hiperbólica.
Capa de entradas	10 neuronas
Capa oculta 1	7 neuronas
Capa oculta 2	7 neuronas
Capa oculta 3	0
Capa de salida	1 neurona

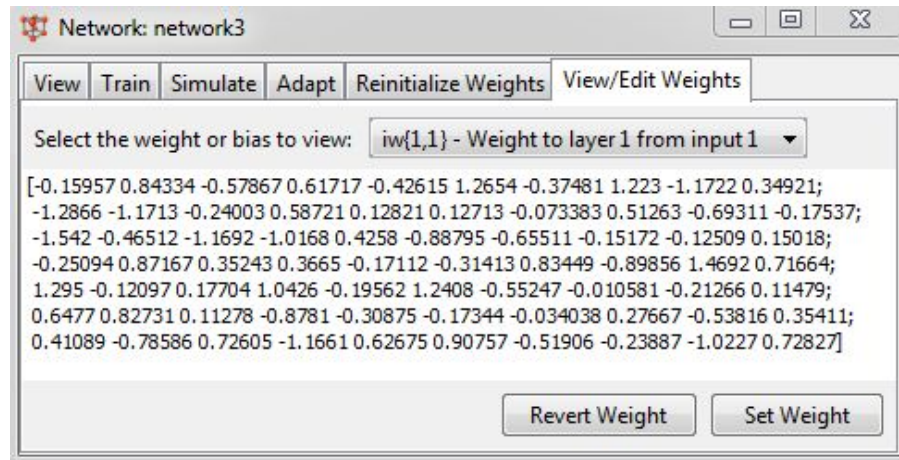
Entrenamiento

El resultado que nos muestra el entrenamiento del Diagnosticador 3 es el performance o rendimiento que usa la función del error medio que es el siguiente:

ERROR: 1.45%



La matriz de pesos de la red neuronal después del entrenamiento es la siguiente:



Validación

Salida deseada (y)	Intervalos		Salida obtenida RNA (t)	Sin aplicar intervalos	Aplicando intervalos	Pertenece t al intervalo
	y - 0.125	y + 0.125				
0.25	0.125	0.375	0.915	0.442225	0.442225	no
0	-0.125	0.125	0.917	0.840889	0.840889	no
1	0.875	1.125	0.612	0.150544	0.150544	no
0.25	0.125	0.375	0.782	0.283024	0.283024	no
0.25	0.125	0.375	0.673	0.178929	0.178929	no
0.25	0.125	0.375	0.246	0.000016		si
0	-0.125	0.125	0.068	0.004624		si
0.25	0.125	0.375	0.442	0.036864		si
0.25	0.125	0.375	0.372	0.014884		si
0.75	0.625	0.875	0.863	0.012769		si

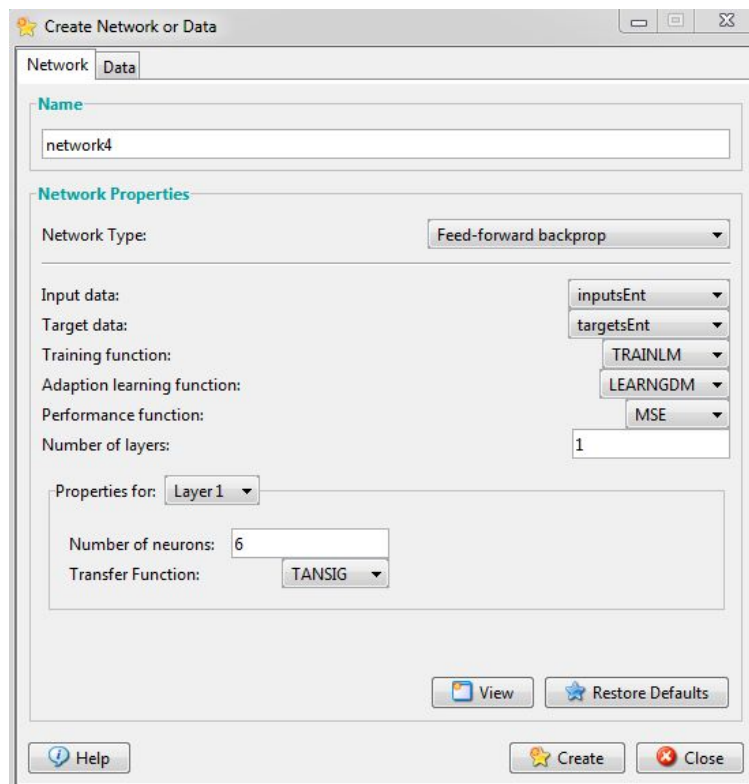
0.5	0.375	0.625	0.627	0.016129		si
0.25	0.125	0.375	0.648	0.158404	0.158404	no
0.25	0.125	0.375	0.308	0.003364		si
0.75	0.625	0.875	0.824	0.005476		si
0.5	0.375	0.625	0.8	0.09	0.09	no
				0.1492094	0.14293433	

El ECM de la fase de validación del Diagnosticador 3 es: 14.29%

4. Diagnosticador 4

Diseño de la RNA

El Diagnosticador 4 está representado por el siguiente modelo de red neuronal.



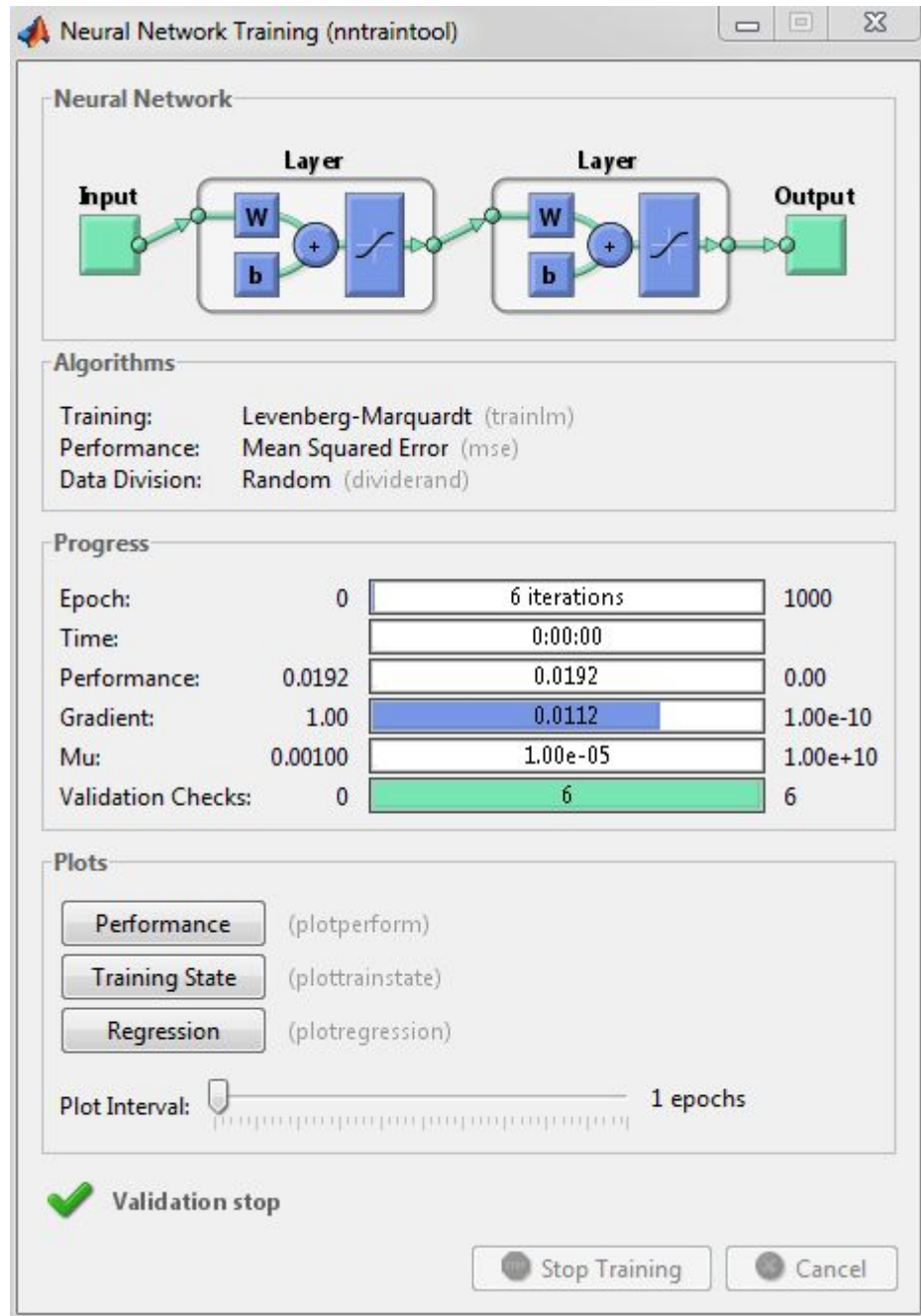
El Diagnosticador 4 tiene la siguiente configuración de parámetros:

Variables	Descripción
Tipo de red	Feed – forward backpropagation
Rango de entradas y salidas	0 y 1
Función de Entrenamiento	TRAINLM
Función de Aprendizaje	LEARNGDM
Función de Rendimiento	MSE
Propiedades de las capas	Función Tansig.
Función de transferencia	Sigmoidea, tangente e hiperbólica.
Capa de entradas	10 neuronas
Capa oculta 1	6 neuronas
Capa oculta 2	0
Capa oculta 3	0
Capa de salida	1 neurona

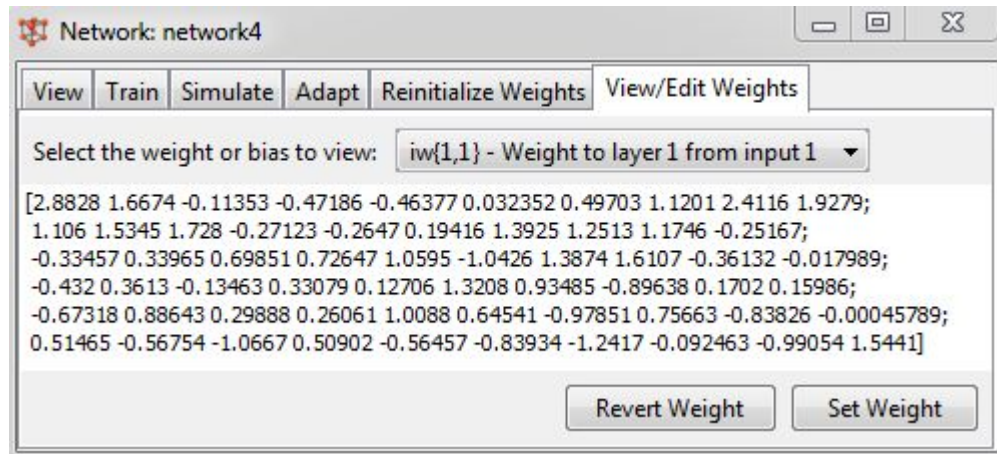
Entrenamiento

El resultado que nos muestra el entrenamiento del Diagnosticador 4 es el performance o rendimiento que usa la función del error medio que es el siguiente:

ERROR: 1.92%



La matriz de pesos de la red neuronal después del entrenamiento es la siguiente:



Validación

Salida deseada (y)	Intervalos		Salida obtenida RNA (t)	Sin aplicar intervalos	Aplicando intervalos	Pertenece al intervalo
	y - 0.125	y + 0.125				
0.25	0.125	0.375	0.939	0.474721	0.474721	no
0	-0.125	0.125	0.28	0.0784	0.0784	no
1	0.875	1.125	0.594	0.164836	0.164836	no
0.25	0.125	0.375	0.899	0.421201	0.421201	no
0.25	0.125	0.375	0.99	0.5476	0.5476	no
0.25	0.125	0.375	0.001	0.062001	0.062001	no
0	-0.125	0.125	0.012	0.000144		si
0.25	0.125	0.375	0.677	0.182329	0.182329	no
0.25	0.125	0.375	0.987	0.543169	0.543169	no
0.75	0.625	0.875	0.994	0.059536	0.059536	no

0.5	0.375	0.625	0.998	0.248004	0.248004	no
0.25	0.125	0.375	0.045	0.042025	0.042025	no
0.25	0.125	0.375	0.266	0.000256		si
0.75	0.625	0.875	0.375	0.140625	0.140625	no
0.5	0.375	0.625	0.142	0.128164	0.128164	no
				0.206200733	0.20617407	

El ECM de la fase de validación del Diagnosticador 4 es: 14.29%

5. Diagnosticador 5

Diseño de la RNA

El Diagnosticador 5 está representado por el siguiente modelo de red neuronal.

Create Network or Data

Network Data

Name: network5

Network Properties

Network Type: Feed-forward backprop

Input data: inputsEnt

Target data: targetsEnt

Training function: TRAINLM

Adaption learning function: LEARNGDM

Performance function: MSE

Number of layers: 1

Properties for: Layer 1

Number of neurons: 7

Transfer Function: TANSIG

View Restore Defaults

Help Create Close

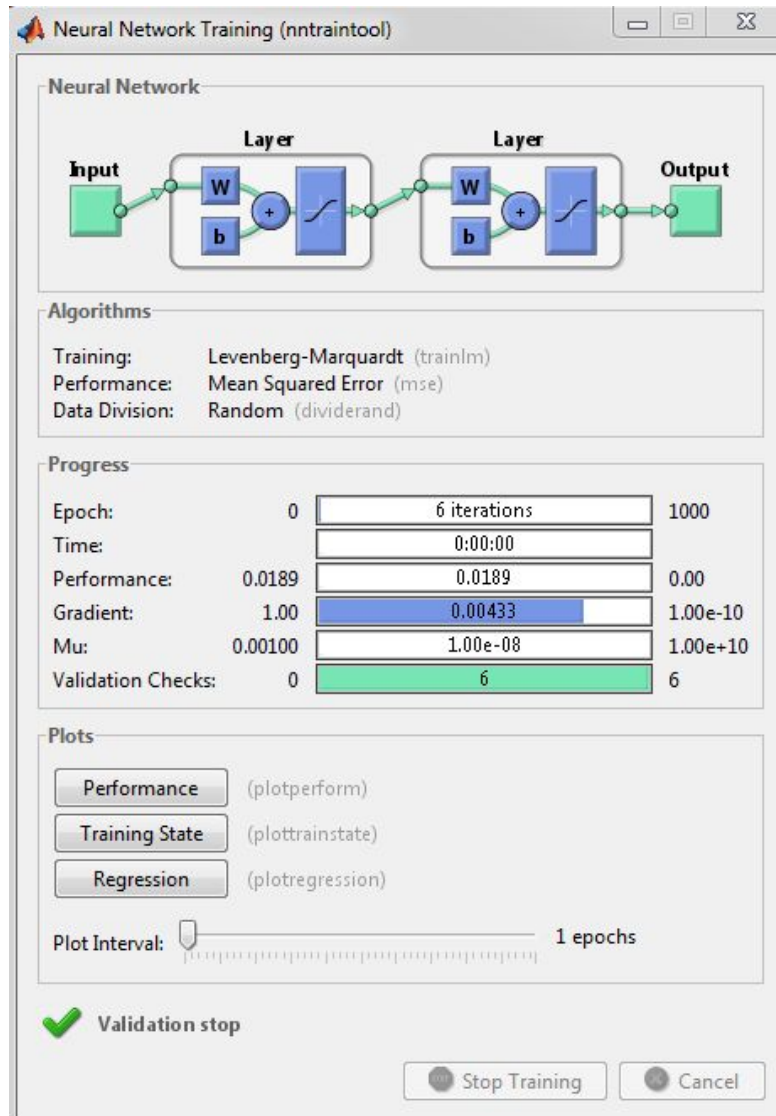
El Diagnosticador 5 tiene la siguiente configuración de parámetros:

Variables	Descripción
Tipo de red	Feed – forward backpropagation
Rango de entradas y salidas	0 y 1
Función de Entrenamiento	TRAINLM
Función de Aprendizaje	LEARNGDM
Función de Rendimiento	MSE
Propiedades de las capas	Función Tansig.
Función de transferencia	Sigmoidea, tangente e hiperbólica.
Capa de entradas	10 neuronas
Capa oculta 1	7 neuronas
Capa oculta 2	0
Capa oculta 3	0
Capa de salida	1 neurona

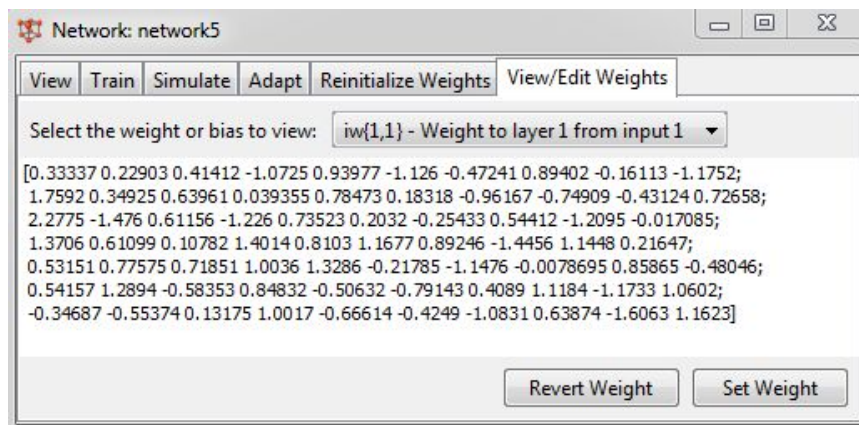
Entrenamiento

El resultado que nos muestra el entrenamiento del Diagnosticador 5 es el performance o rendimiento que usa la función del error medio que es el siguiente:

ERROR: 1.89%



La matriz de pesos de la red neuronal después del entrenamiento es la siguiente:



Validación

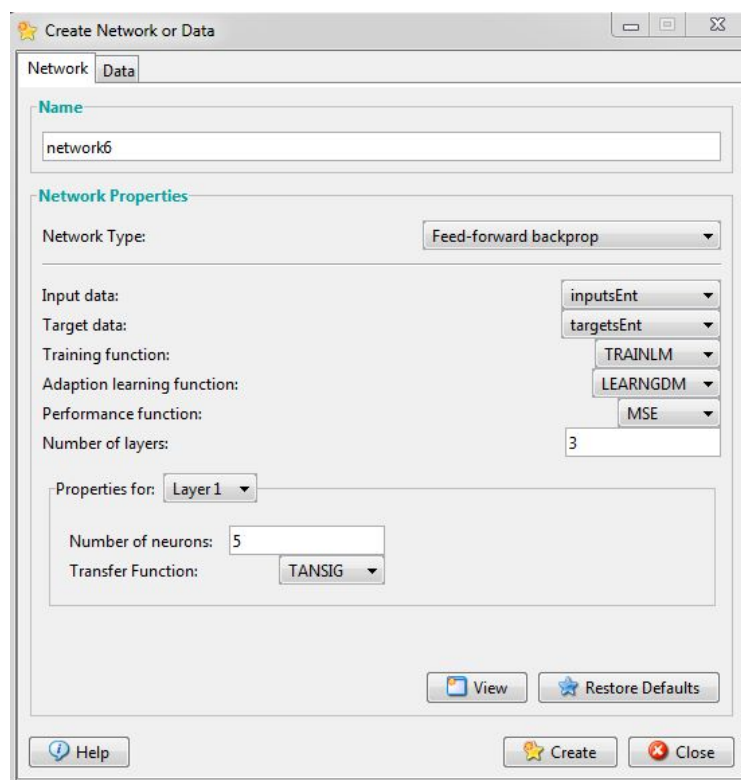
Salida deseada (y)	Intervalos		Salida obtenida RNA (t)	Sin aplicar intervalos	Aplicando intervalos	Pertenece t al intervalo
	y - 0.125	y + 0.125				
0.25	0.125	0.375	0.292	0.001764		si
0	-0.125	0.125	0.128	0.016384		si
1	0.875	1.125	0.261	0.546121	0.546121	no
0.25	0.125	0.375	0.647	0.157609	0.157609	no
0.25	0.125	0.375	0.122	0.016384	0.016384	no
0.25	0.125	0.375	0.128	0.014884		si
0	-0.125	0.125	0.858	0.736164	0.736164	no
0.25	0.125	0.375	0.45	0.04	0.04	no
0.25	0.125	0.375	0.277	0.000729		si
0.75	0.625	0.875	0.432	0.101124	0.101124	no
0.5	0.375	0.625	0.446	0.002916		si
0.25	0.125	0.375	0.962	0.506944	0.506944	no
0.25	0.125	0.375	0.16	0.0081		si
0.75	0.625	0.875	0.506	0.059536	0.059536	no
0.5	0.375	0.625	0.796	0.087616	0.087616	no
				0.153085	0.15009987	

El ECM de la fase de validación del Diagnosticador 5 es: 15.01%

6. Diagnosticador 6

Diseño de la RNA

El Diagnosticador 6 está representado por el siguiente modelo de red neuronal.



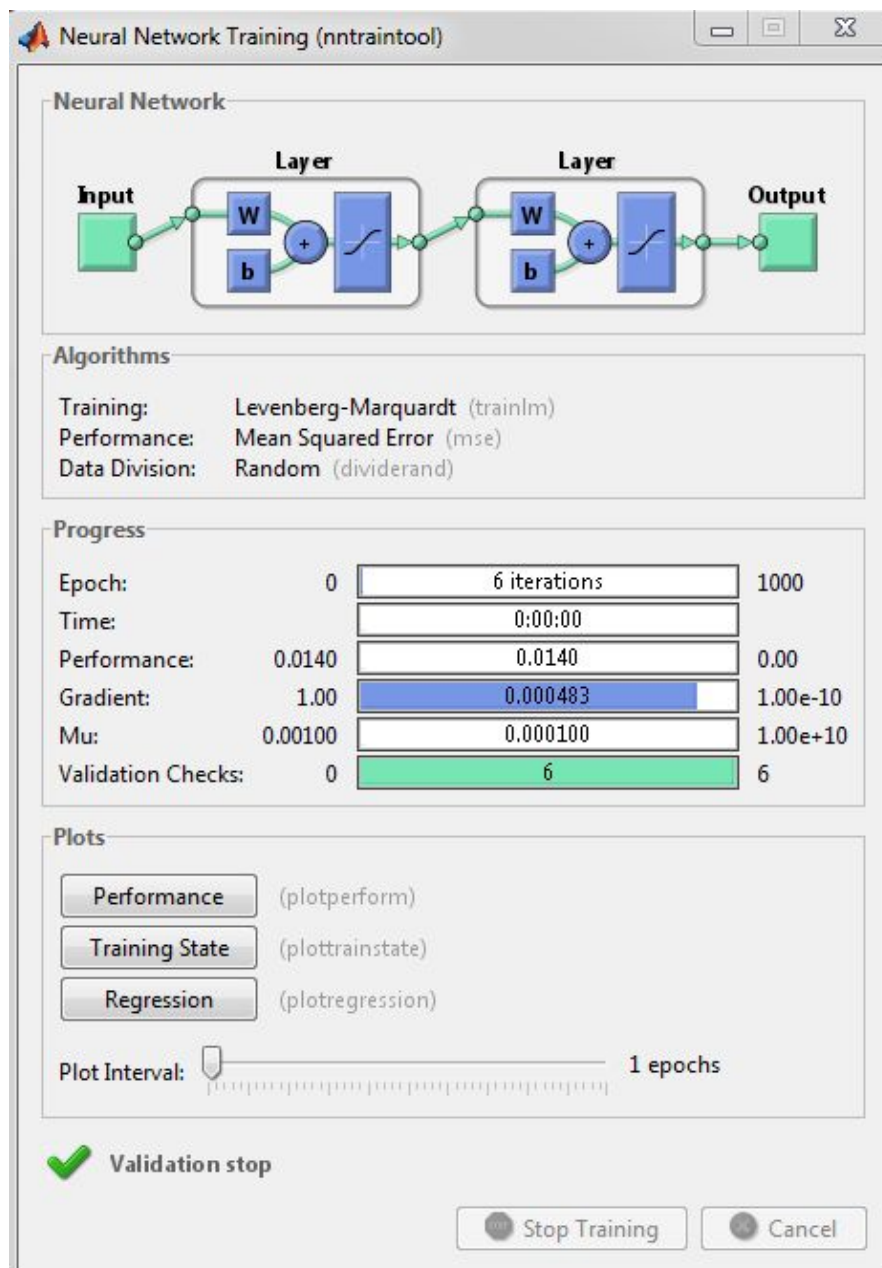
El Diagnosticador 6 tiene la siguiente configuración de parámetros:

Variables	Descripción
Tipo de red	Feed – forward backpropagation
Rango de entradas y salidas	0 y 1
Función de Entrenamiento	TRAINLM
Función de Aprendizaje	LEARNGDM
Función de Rendimiento	MSE
Propiedades de las capas	Función Tansig.
Función de transferencia	Sigmoidea, tangente e hiperbólica.
Capa de entradas	10 neuronas
Capa oculta 1	5 neuronas
Capa oculta 2	5 neuronas
Capa oculta 3	5 neuronas
Capa de salida	1 neurona

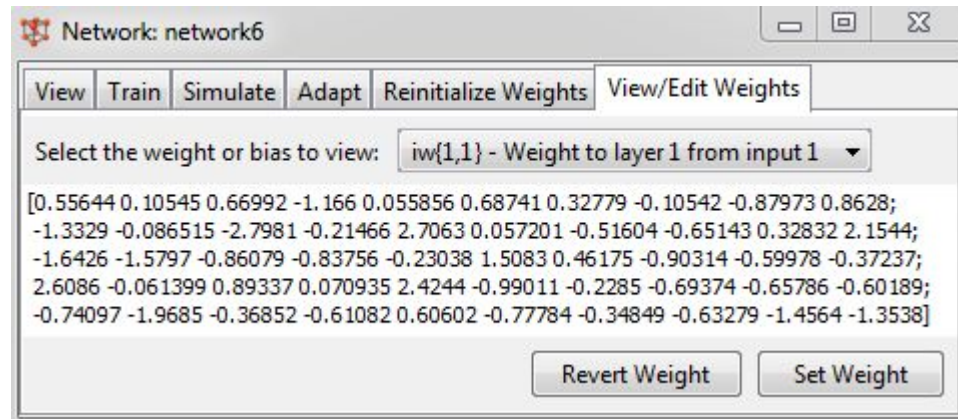
Entrenamiento

El resultado que nos muestra el entrenamiento del Diagnosticador 6 es el performance o rendimiento que usa la función del error medio que es el siguiente:

ERROR: 1.40%



La matriz de pesos de la red neuronal después del entrenamiento es la siguiente:



Validación

Salida deseada (y)	Intervalos		Salida obtenida	Sin aplicar intervalos	Aplicando intervalos	Pertenece al intervalo
	y - 0.125	y + 0.125				
0.25	0.125	0.375	0.446	0.038416	0.038416	no
0	-0.125	0.125	0.052	0.002704		si
1	0.875	1.125	0.817	0.033489	0.033489	no
0.25	0.125	0.375	0.486	0.055696	0.055696	no
0.25	0.125	0.375	0.137	0.012769		si
0.25	0.125	0.375	0.141	0.011881		si
0	-0.125	0.125	0.38	0.1444	0.1444	no
0.25	0.125	0.375	0.539	0.083521	0.083521	no
0.25	0.125	0.375	0.088	0.026244	0.026244	no
0.75	0.625	0.875	0.988	0.056644	0.056644	no
0.5	0.375	0.625	0.889	0.151321	0.151321	no

0.25	0.125	0.375	0.043	0.042849	0.042849	no
0.25	0.125	0.375	0.141	0.011881		si
0.75	0.625	0.875	0.459	0.084681	0.084681	no
0.5	0.375	0.625	0.25	0.0625	0.0625	no
				0.054599733	0.05198407	

El ECM de la fase de validación del Diagnosticador 6 es: 5.2%

7. Diagnosticador 7

Diseño de la RNA

El Diagnosticador 7 está representado por el siguiente modelo de red neuronal.

Create Network or Data

Network Data

Name: network7

Network Properties

Network Type: Feed-forward backprop

Input data: inputsEnt

Target data: targetsEnt

Training function: TRAINLM

Adaption learning function: LEARNM

Performance function: MSE

Number of layers: 3

Properties for: Layer 1

Number of neurons: 6

Transfer Function: TANSIG

View Restore Defaults

Help Create Close

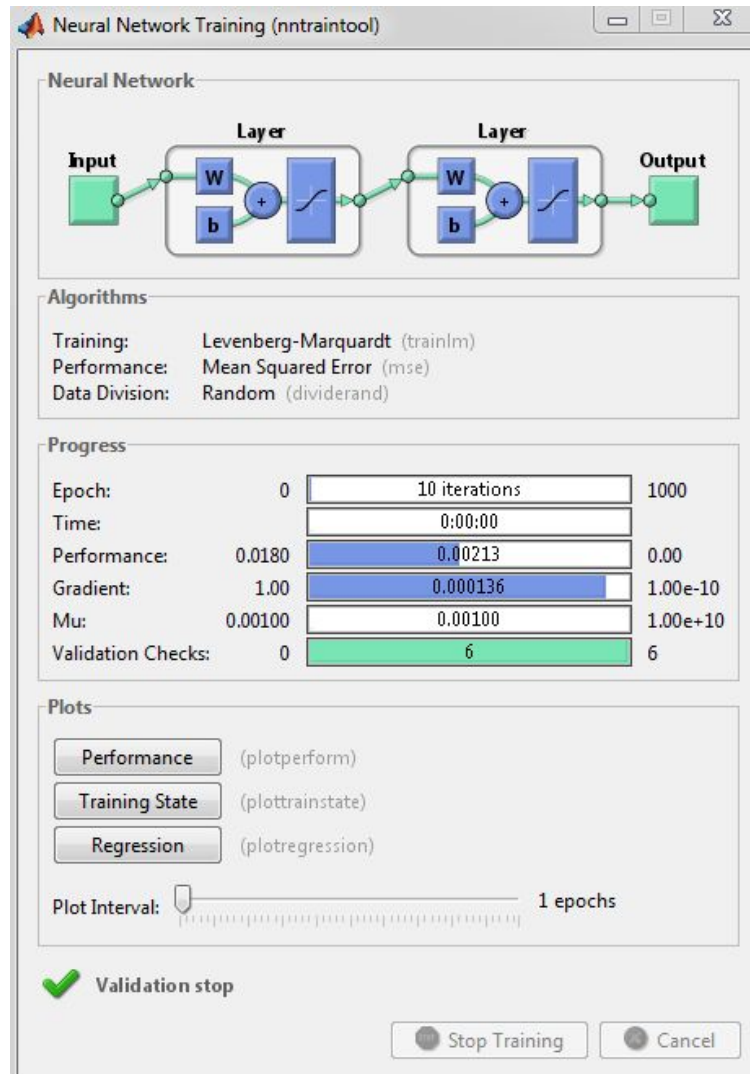
El Diagnosticador 7 tiene la siguiente configuración de parámetros:

Variables	Descripción
Tipo de red	Feed – forward backpropagation
Rango de entradas y salidas	0 y 1
Función de Entrenamiento	TRAINLM
Función de Aprendizaje	LEARNGDM
Función de Rendimiento	MSE
Propiedades de las capas	Función Tansig.
Función de transferencia	Sigmoidea, tangente e hiperbólica.
Capa de entradas	10 neuronas
Capa oculta 1	6 neuronas
Capa oculta 2	6 neuronas
Capa oculta 3	6 neuronas
Capa de salida	1 neurona

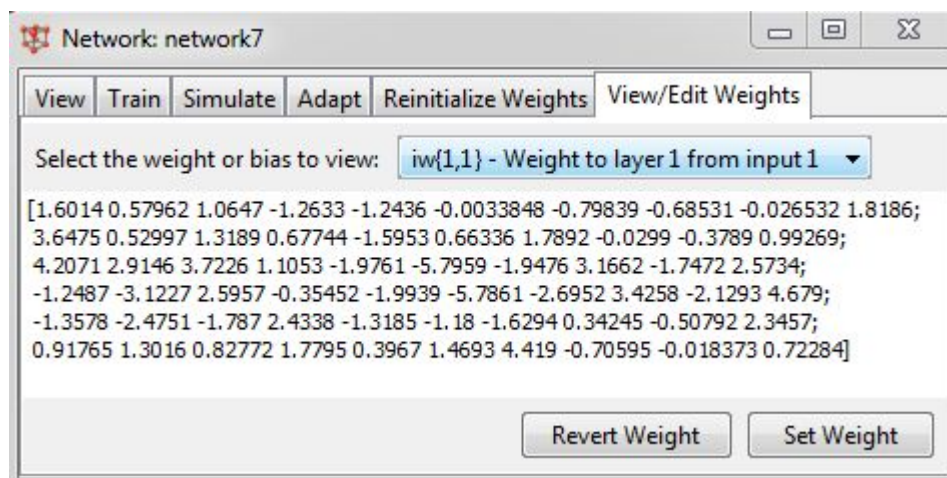
Entrenamiento

El resultado que nos muestra el entrenamiento del Diagnosticador 7 es el performance o rendimiento que usa la función del error medio que es el siguiente:

ERROR: 1.80%



La matriz de pesos de la red neuronal después del entrenamiento es la siguiente:



Validación

Salida deseada (y)	Intervalos		Salida obtenida	Sin aplicar intervalos	Aplicando intervalos	Pertenece al intervalo
	y - 0.125	y + 0.125				
0.25	0.125	0.375	0.777	0.277729	0.277729	no
0	-0.125	0.125	0.286	0.081796	0.081796	no
1	0.875	1.125	1	0		si
0.25	0.125	0.375	0.508	0.066564	0.066564	no
0.25	0.125	0.375	0.725	0.225625	0.225625	no
0.25	0.125	0.375	0.017	0.054289	0.054289	no
0	-0.125	0.125	0.909	0.826281	0.826281	no
0.25	0.125	0.375	0.421	0.029241	0.029241	no
0.25	0.125	0.375	0.204	0.002116		si
0.75	0.625	0.875	0.959	0.043681	0.043681	no
0.5	0.375	0.625	0.195	0.093025	0.093025	no
0.25	0.125	0.375	0.195	0.003025		si
0.25	0.125	0.375	0.06	0.0361	0.0361	no
0.75	0.625	0.875	0.068	0.465124	0.465124	no
0.5	0.375	0.625	0.794	0.086436	0.086436	no
				0.152735467	0.15239273	

El ECM de la fase de validación del Diagnosticador 7 es: 15.24%

ANEXO G

SELECCIÓN DE LAS VARIABLES DE

ENTRADA

PROCESO DE SELECCIÓN DE LAS VARIABLES

Datos del Experto

El proceso de selección de las variables de esta investigación abarcó varias sesiones, las cuales se llevaron a cabo en el consultorio del Dr. Lino Gutiérrez, el cual está ubicado en la División médico Legal de Lima Centro.

Datos del experto	
Nombre:	Lino Gutiérrez Escalante
Profesión:	Médico Legista
Lugar de trabajo:	División Médico Legal de Lima Central

Sesiones

En cada sesión las discusiones se realizaron en función a las investigaciones existentes hasta el momento de otros estudiosos, así como también el conocimiento científico y teórico y los 15 años de experiencia del experto.

La sesiones se desarrollaron teniendo en cuenta los siguientes puntos:

Objetivo:	Seleccionar las variables influyentes en la datación de una equimosis, de acuerdo con los datos que actualmente cuenta el experto o con los que se pueden añadir según su experiencia.
Descripción:	Se analizan las variables teóricas que han sido comprobadas mediante otros estudios científicos y otras variables que de acuerdo a los estudios del experto deben ser igualmente consideradas en el proceso de datación de una equimosis.
Límites:	Las fuentes de datos para el banco de casos clínicos de equimosis. La información que puede brindar el experto según su experiencia. Los aparatos tecnológicos con los que cuenta la investigación.
Duración:	Mayo 2010 - Agosto 2011

Variables seleccionadas

Después de un análisis cuidadoso de todas las posibles variables a considerar, se elaboró una lista de variables que se considerarían dentro del desarrollo del sistema inteligente. Estas son:

VARIABLES	OBSERVACIÓN
Color de la equimosis	Según números estudios científicos y biológicos, se ha concluido que el color de la equimosis es una de las variables más influyentes para el diagnóstico de la edad de una equimosis. Esto es debido a la presencia de oxihemoglobina (OxyHb), hemoglobina, biliverdina y bilirrubina en el cuerpo humano.
Color de piel	Esta variable influye al momento de percibir el color verdadero de la equimosis, por la mayor concentración de melanina que tienen ciertos tipos de piel.
Edad	La piel va cambiando de acuerdo como el ser humano va creciendo. En consecuencia estudiosos han encontrado que el efecto de un golpe en un bebé, niño, adolescente, joven, adulto y anciano es diferente.
Sexo	La resistencia de la piel de un varón es más que el de una mujer. Esta diferencia se debe básicamente a la cantidad de fibra, espesor, firmeza y secreción sebácea.
Zona Laxa	La piel que presenta pliegues reacciona diferente ante la aplicación de un golpe en una piel lisa.
Vascularidad	Las zonas con mayor cantidad de vasos sanguíneos tienen mayor probabilidad de presentar hemorragia interna, que aquellas zonas donde hay menor presencia de tejido vascular.
Tejido Óseo Subyacente	El choque de un golpe en una zona donde existe tejido óseo subyacente tendrá mayores consecuencias, que aquella fuerza aplicada en las zonas blandas.
Temperatura Ambiental	La temperatura ambiental influye en la circulación sanguínea, y por ende en la reacción del cuerpo humano a un golpe.

Variables no seleccionadas

Por descarte también se elaboró una lista de variables que por motivos de falta de información, de aparatos tecnológicos o biológicos, poca influencia en la datación de la equimosis u otros, no pueden ser consideradas como variables de sistema inteligente propuesto en esta tesis, dejándolo para trabajos futuros. A continuación se listaran las variables no seleccionadas.

VARIABLES	OBSERVACIÓN
El grado del trauma	Es una variable muy subjetiva y difusa. No se podría definir un máximo o un mínimo.
Grasa corporal	No se puede considerar ya que no se cuenta con los aparatos adecuados para obtener este valor. Además no se cuenta con dicha información.

El tamaño	Es una variable que no influye directamente en la datación de una equimosis.
La altura superficial	No se considera esta variable, por falta de información en los casos clínicos.
El área corporal	Es una variable complicada de manejar, ya que tendría muchas opciones, por lo que solo se considerará la cercanía al tejido óseo.
La dirección de la fuerza	No se considera esta variable, por falta de información en los casos clínicos.
La duración de la fuerza	No se considera esta variable, por falta de información en los casos clínicos.
La cantidad de sangre extravasada	No se puede considerar ya que no se cuenta con los aparatos adecuados para obtener este valor. Además no se cuenta con dicha información.
Las características biológicas	No se puede considerar ya que no se cuenta con los aparatos adecuados para obtener este valor. Además no se cuenta con dicha información.
Las características anatómicas	No se puede considerar ya que no se cuenta con los aparatos adecuados para obtener este valor. Además no se cuenta con dicha información.
La amplitud	Es una variable que no influye directamente en la datación de una equimosis.
Las enfermedades	No se considera esta variable, por falta de información en los casos clínicos.
La presión sanguínea	No se puede considerar ya que no se cuenta con los aparatos adecuados para obtener este valor. Además no se cuenta con dicha información.
La temperatura corporal	No se considera esta variable, por falta de información en los casos clínicos.
Medicamentos consumidos	No se considera esta variable, por falta de información en los casos clínicos.

Observaciones Generales

Los estudios realizados hasta el momento abarcan pocas de estas variables, además es importante resaltar que existen muy pocos trabajos tecnológicos enfocados a la solución de la inexactitud de los diagnósticos de los médicos, siendo la mayoría de ellos específicamente biológicos y técnicos.

Si se realizara un sistema que puede incluir la mayor cantidad de variables influyentes en la evolución de una equimosis, sería impresionante, ya que ayudaría a que los diagnósticos de la edad de una equimosis sean más exactos y precisos, solucionando no solo el problema principal de inexactitud de los diagnósticos médicos sino otros problemas como la lentitud del proceso, los actos de corrupción e injusticias, la falta experiencia y conocimientos de los médicos.